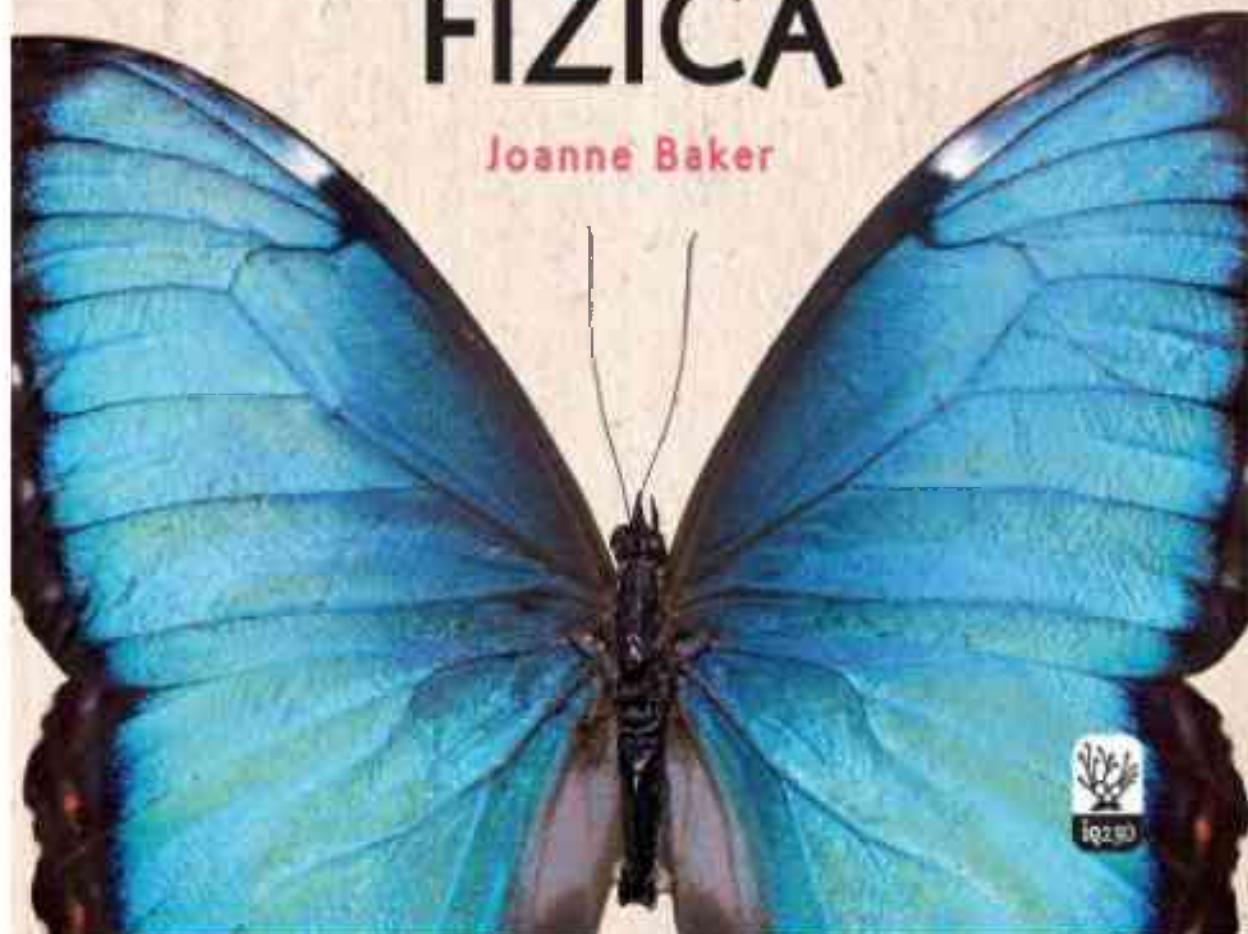


50 DE IDEI

PE CARE TREBUIE SĂ LE CUNOSTI

FIZICĂ

Joanne Baker

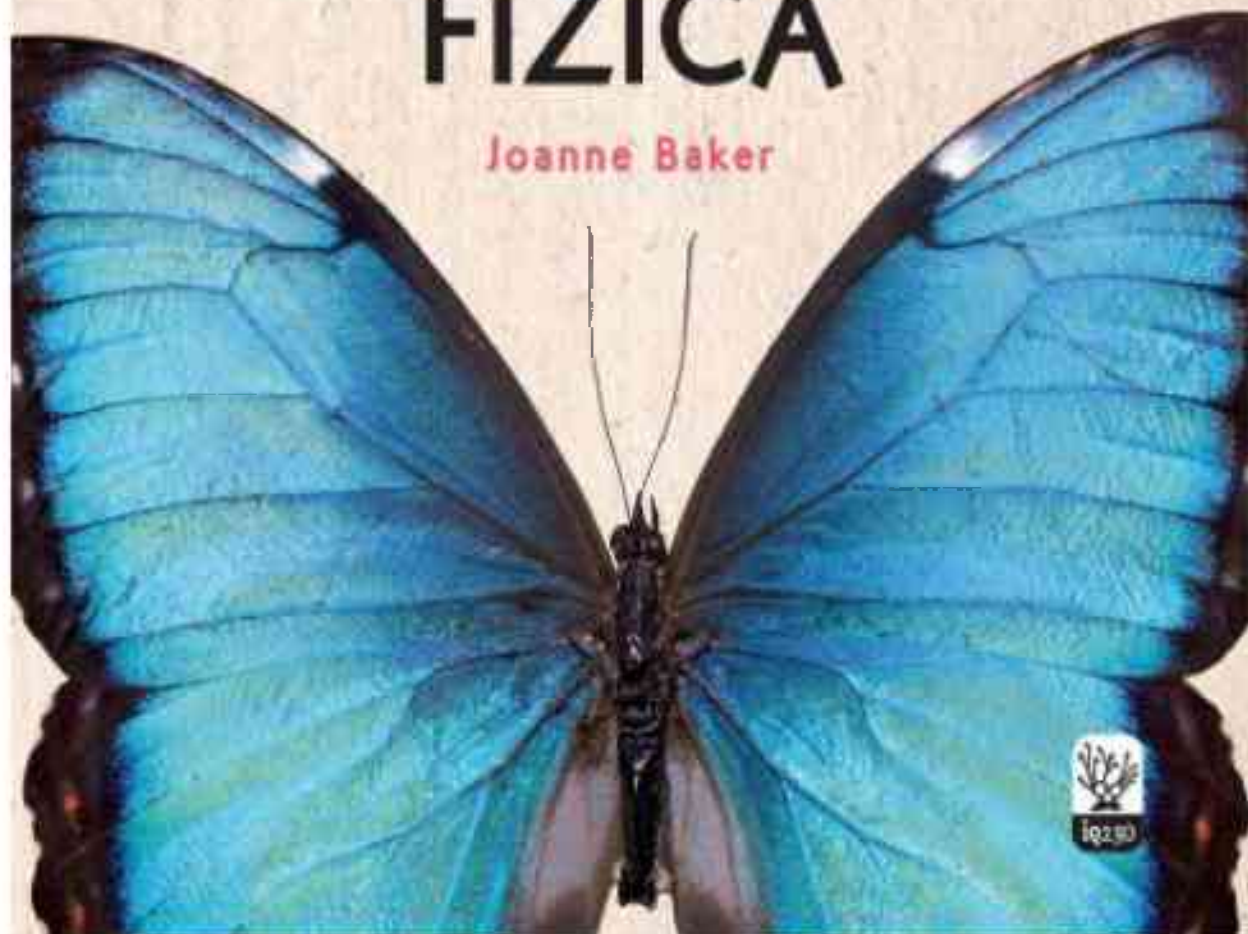


50 DE IDEI

PE CARE TREBUIE SĂ LE CUNOSTI

FIZICĂ

Joanne Baker



50 DE IDEI

PE CARE TREBUIE SĂ LE CUNOȘTI

FIZICĂ

Joanne Baker



BUCUREȘTI, 2017

Cuprins

Introducere

MATERIE MIȘCARE

- 01 Principiul Mach 1
- 02 Legile mișcării lui Newton 3
- 03 Legile lui Kepler 2
- 04 Legea gravitației lui Newton 5
- 05 Conservarea energiei 13
- 06 Mișcarea armonică simplă 24
- 07 Legea lui Hooke 8
- 08 Legea gazului ideal 32
- 09 Legea a doua a termodinamicii 36
- 10 Zero absolut 40
- 11 Mișcarea browniană 44
- 12 Teoria atomului 48
- 13 Ecuația lui Bernoulli 52

ÎN SPATEA UNDELOR

- 14 Teoria undelor lui Newton 56
- 15 Principiul Huygens 60
- 16 Legea lui Snell 64
- 17 Legea lui Bragg 68
- 18 Difracția lui Fraunhofer 72
- 19 Efectul Doppler 76
- 20 Legea lui Ohm 80
- 21 Regula mână dreaptă lui Fleming 84
- 22 Ecuațiile lui Maxwell 88

ENIGME UANTICE

- 23 Legea lui Planck 92
- 24 Efect fotoelectric 96
- 25 Ecuația lui Schrödinger 100

- 26 Principiul certitudinii lui Heisenberg 104
- 27 Interpretarea lui Copenhagen 108
- 28 Psihica lui Schrödinger 112
- 29 Paradoxul lui EPR 116
- 30 Principiul de exclusiune al lui Pauli 120
- 31 Superconductivitatea 124

DISECÂND OMUL

- 32 Atomul lui Rutherford 128
- 33 Antimateria 132
- 34 Fisiluna nucleară 136
- 35 Fuziunea nucleară 140
- 36 Modelul standard 144
- 37 Diagrama lui Feynman 148
- 38 Particula lui Dumnezeu 152
- 39 Teoria stringurilor 156

SPAȚIU ȘI TIMP

- 40 Relativitatea specială 160
- 41 Relativitatea generalizată 164
- 42 Găurile negre 168
- 43 Paradoxul lui Olbers 172
- 44 Legea lui Hubble 176
- 45 Big Bang 180
- 46 Inflația cosmică 184
- 47 Materia întunecată 188
- 48 Constanta cosmologică 192
- 49 Paradoxul lui Fermi 196
- 50 Principiul antropic 200

Glosar 204

Indice 208

Introducere

Când le-am spus prietenilor despre această carte, au glumit spunându-mi că primul lucru pe care trebuie să îl știu despre fizică este că e grea. Cu toate acestea, folosim fizica în fiecare zi. Când ne uităm în oglindă sau ne punem ochelarii, folosim domeniul fizicii numit optică. Atunci când punem ceasul deșteptător, măsurăm timpul; când privim o hartă, navigăm în spațiul geometric. Telefoanele mobile ne conectează, prin intermediul undelor electromagnetice invizibile, cu sateliții care orbitează deasupra noastră. Dar fizica nu înseamnă doar tehnologie. Fără ea, nu ar exista lună, curcubeie sau diamante. Chiar și sângele care curge prin arterele și venele noastre urmează legile fizicii, gîtința lumii fizice.

Fizica modernă este plină de surprize. Fizica cuantică a răsturnat lumea din temelii, punând sub semnul întrebării însăși ideea existenței unui obiect. Cosmologia pune întrebarea ce este universul. Cum a apărut și de ce suntem noi aici? Este universul nostru ceva subiectiv sau este, într-un fel, un rezultat inevitabil? Privind în interiorul atomilor, fizicienii au descoperit o lume ascunsă, spectrală, a particulelor fundamentale. Chiar și cea mai solidă masă de mahon este alcătuită, în cea mai mare parte, din spațiu gol, atomii săi fiind susținuți de un eșafodaj de forțe nucleare. Fizica a crescut din filosofie și, într-un fel, se reîntoarce la aceasta,

oferind noi și neașteptate viziuni asupra lumii, care depășesc experiențele noastre de zi cu zi.

Fizica nu este, însă, doar o colecție de idei abstracte. Este ancorată în realitate și în experiment. Metoda științifică perfecționează continuu legile fizicii, la fel cum se întâmplă cu programele informatice, pe măsură ce defectele sunt remediate și sunt adăugate noi module. Dacă rezultatele experimentelor cer acest lucru, pot fi generate schimbări importante în modul de a gândi, dar acceptarea acestor schimbări cere timp. A trebuit să treacă mai mult de o generație pentru ca ideea lui Copernic că Pământul se învârtă în jurul Soarelui să fie acceptată, dar ritmul s-a accelerat, iar fizica cuantică și teoria relativității au fost asimilate într-un deceniu. Prin urmare, chiar și legile fizicii aplicate cu cel mai mare succes sunt puse în mod constant la încercare.

Această carte vă oferă o trecere rapidă în revistă a fizicii, de la noțiuni de bază cum sunt gravitația, lumina și energia până la ideile moderne ale teoriei cuantice, teoriei haosului și teoriei găurilor negre. Sper că, la fel ca un bun ghid turistic, cartea o să vă facă să vă doriți să aflați mai multe. Fizica nu este doar esențială – este și distractivă.

01 Principiul lui Mach

Un copil care se rotește într-un carusel este atras înspre exterior de stelele îndepărtate. Acesta este principiul lui Mach, potrivit căruia „masa de acolo influențează inerția de aici”. Prin intermediul gravitației, obiecte îndepărtate afectează modul în care lucrurile se mișcă și se învârt în apropiere. Dar de ce este așa și cum putem spune dacă un lucru se mișcă sau nu?

Dacă ați stat vreodată într-un tren, într-o gară, și ați privit prin fereastră un vagon care pleacă de lângă al vostru, știți că uneori este greu de spus dacă se mișcă vagonul vostru sau celălalt. Există vreo modalitate prin care să puteți determina cu siguranță care din ele pleacă?

Ernst Mach, filosof și fizician austriac, și-a pus această întrebare în secolul al XIX-lea. Pășea pe urmele marelui Isaac Newton, care credea, spre deosebire de Mach, că spațiul este un cadru de referință absolut. Ca o coală de hârtie gradată, spațiul lui Newton conține un set de coordonate imprimate, iar mișcările sunt determinate în raport cu acea grilă. Mach, însă, nu era de acord, argumentând că noțiunea de mișcare are semnificație doar dacă este măsurată în raport cu alt obiect, nu cu cadrul de referință. Ce înseamnă că te miști, dacă nu te miști față de altceva? În acest sens, Mach, care era influențat de ideile rivalului lui Newton, Gottfried Leibniz, a fost un precursor al lui Albert Einstein, preferând ideea că există doar mișcări relative. Mach a argumentat că, deoarece o bilă se rostogolește în același mod fie că este în Franța, fie în Australia, cadrul spațial de referință este irelevant. Singurul lucru despre care se poate spune că afectează modul în care se rostogolește bila este gravitația. Pe Lună, bila s-ar putea rostogoli în mod diferit, pentru că forța

CRONOLOGIE

cca 335 î.Hr.

Aristotel afirmă că obiectele se mișcă datorită acțiunii forțelor.

1640 d.Hr.

Galileo formulează principiul inerției.

gravitațională care atrage masa bilei este mai slabă acolo. Dar fiind că fiecare obiect din univers exercită o atracție gravitațională asupra tuturor celorlalte, fiecare obiect va resimți prezența celorlalți obiecte, prin intermediul forțelor de atracție reciprocă. Prin urmare, mișcarea depinde, în cele din urmă, de distribuția materiei sau de masa acesteia, nu de proprietățile spațiului în sine.

Masa Ce anume este masa? Este o măsură a cât de multă materie conține un obiect. Masa unei bucăți de metal ar fi egală cu suma maselor tuturor atomilor din ea. Masa este într-o măsură diferită de greutate. Greutatea este o măsură a forței gravitației care trage o masă în jos – un astronaut cântărește mai puțin pe Lună decât pe Pământ, pentru că forța gravitațională exercitată de către Lună este mai mică. Dar masa astronautului este aceeași – numărul de atomi pe care el îl conține nu s-a schimbat. Potrivit lui Albert Einstein, care a arătat că energia și masa sunt interschimbabile, masa poate fi transformată în energie pură. Așadar, masa este, în final, energie.

”**SPAȚIUL ABSOLUT, CONSIDERAT ÎN ESENȚA LUI ȘI FĂRĂ NICI O LEGĂTURĂ CU CEVA EXTERN, RĂMÂNE ÎNTOTDEAUNA ASEMENEA ȘI IMOBIL.**“

Isaac Newton, 1687

Inerția Inerția, denumită după cuvântul latin care înseamnă „lene”, este foarte asemănătoare masei, dar ne spune cât de greu este să miști ceva aplicând o forță. Un obiect cu o inerție mare opune rezistență la mișcare. Chiar și în spațiul cosmic, este nevoie de o mare forță pentru a muta un obiect masiv. Pentru a devia un asteroid uriaș, din roci solide, pe o traiectorie de coliziune cu Pământul, ar fi nevoie de o forță de gigant, obținută printr-o explozie nucleară, sau de o forță mai mică, aplicată un timp mai îndelungat.

Astronomul italian Galileo Galilei a elaborat principiul inerției în secolul al XVII-lea: dacă un obiect este lăsat în pace și asupra lui nu se aplică nici o forță, atunci starea sa de mișcare nu se schimbă. Dacă se mișcă, va continua să se miște cu aceeași viteză și în aceeași direcție. Dacă stă pe loc, va continua să stea. Newton a prelucrat această idee pentru a formula prima sa lege a mișcării.

1687

Newton publică demonstrația cu găleata.

1893

Mach publică Știința mecanicii.

1905

Einstein publică teoria relativității restrânse.

Găleata lui Newton Newton a studiat și el gravitația. A văzut că masele se atrag una pe alta. Un măr cade dintr-un pom pe pământ, pentru că este atras de masa Pământului. La fel, Pământul este atras de masa mărului, dar ar fi foarte dificil să măsurăm mișcarea microscopică a întregului Pământ spre măr.

Newton a dovedit că forța gravitației scade rapid odată cu distanța, așa că forța gravitațională a Pământului este mult mai slabă dacă plutim la mare înălțime față de el decât la suprafața lui. Dar, cu toate acestea, tot am simți atracția redusă a Pământului. Cu cât mai departe mergem, cu atât mai slabă va fi, dar tot ar putea să ne devieze mișcarea. De fapt, toate obiectele din univers pot exercita o mică atracție gravitațională, care ar putea să afecteze subtil mișcarea noastră.

Newton a încercat să înțeleagă relația dintre obiecte și mișcare analizând o găleată cu apă care este rotită. La început, când găleata este rotită, apa rămâne nemiscată, chiar dacă găleata se mișcă. Apoi începe să se rotească și apa. Suprafața ei se curbează, deoarece lichidul încearcă să se scurgă, înălțându-și marginile, dar este ținut în loc de forța constrângătoare a găleții. Newton a argumentat că rotația apei poate fi înțeleasă doar dacă este analizată în cadrul fix de referință al spațiului absolut, în raport cu o grădă. Putem spune dacă găleata se rotește doar privind-o, pentru că am vedea forțele în acțiune, generând suprafața concavă a apei.

Secole mai târziu, Mach a revizuit acest argument. Ce ar fi dacă găleata plină cu apă ar fi singurul lucru din univers? Cum ai putea să știi dacă găleata este cea care se rotește? N-ai putea să spui la fel de bine că apa se rotește în raport cu găleata? Singura modalitate de a înțelege ar fi să plasezi un alt obiect în universul găleții, cum ar fi peretele unei camere sau chiar o stea îndepărtată. Atunci găleata s-ar roti, evident, în raport cu acel obiect. Dar, fără cadrul unei camere staționare și al stelelor fixe, cine ar putea să spună dacă se rotește găleata sau apa? Avem același sentiment când privim Soarele și bolta de stele. Stelele sau pământul se rotesc? Cum putem ști?

După părerea lui Mach și a lui Leibniz, mișcarea are nevoie de obiecte de referință exterioare pentru ca noi să ne dăm seama de ea și, prin urmare, inerția este un concept fără sens într-un univers cu un singur obiect în el.

Ernst Mach 1838-1916

În afară de Principiul lui Mach, fizicianul austriac Ernst Mach este cunoscut și pentru lucrările sale din domeniul opticii și al acusticii, al fiziologiei percepției senzoriale, al filosofiei științei și, mai ales, pentru cercetările sale privind viteza supersonică. A publicat în 1877 o lucrare care l-a influențat pe mult, în care a descrie cum un proiectil care se mișcă având o viteză mai mare decât a sunetului generează o undă de șoc similară cu un jet de carburant de elice. Această undă de șoc în aer este cea care produce bătăitul de la trecerea pragului sonic al unui avion supersonic. Raportul dintre viteza proiectilului sau a avionului și cea a sunetului este denumit acum numărul Mach, deci Mach 2 înseamnă de două ori viteză sunetului.

Astfel încât, dacă universul ar fi fost lipsit de stele, nu am fi știut niciodată că Pământul se învârtă. Stelele ne spun că noi ne rotim în raport cu ele.

Noțiunile de mișcare relativă versus mișcare absolută exprimate în Principiul lui Mach au inspirat, de atunci, mulți fizicieni, cel mai remarcabil fiind Einstein (care, de fapt, a înlocuit denumirea „Principiul lui Mach”). Einstein a preluat ideea că orice mișcare este relativă pentru a-și construi teoriile relativității restrânse și generalizate. El a rezolvat, de asemenea, una dintre problemele evidente ale ideilor lui Mach: rotația și accelerația trebuie să creeze forțe suplimentare, dar unde sunt acestea? Einstein a arătat că, dacă toate lucrurile din univers se rotesc în raport cu Pământul, ar trebui să resimțim, într-adevăr, o mică forță care ar face planeta să se clatine într-o anumită măsură.

Natura spațiului l-a intrigat de milenii pe savanți. Fizicienii moderni care studiază particulele cred că există un cazan în clocot de particule subatomice care sunt create și distruse continuu. Masa, inerția, forțele, mișcarea ar putea fi toate, în final, manifestări ale unei supe cuantice în clocot.

Idee de bază
masa contează pentru mișcare.

02 Legile mișcării ale lui Newton

Isaac Newton a fost unul dintre cei mai importanți, controversați și influenți savanți ai tuturor timpurilor. El a contribuit la inventarea calculului diferențial și integral, a explicat gravitația și a identificat spectrul de culori care alcătuiesc lumina albă. Cele trei legi ale mișcării pe care le-a elaborat arată de ce o bilă de golf urmează o traiectorie curbă, de ce suntem presați spre latura unei mașini care ia curba și de ce simțim o forță printr-o bătă de baseball în timp ce lovim mingea.

Degi motocicletele nu fuseseră inventate pe vremea lui Newton, cele trei legi ale mișcării pe care el le-a elaborat explică modul în care un motociclist-acrobat urcă zidul vertical al morții și cel în care cicliștii pedalează la olimpiadă pe piste înclinate.

Newton, care a trăit în secolul al XVII-lea, este considerat una dintre cele mai vizionare minți ale științei. A fost nevoie de firea lui profund iscoditoare pentru a înțelege unele dintre aspectele aparent banale, dar profunde ale lumii noastre, cum ar fi de ce o bilă aruncată își curbează traiectoria în aer, de ce lucrurile cad în jos și nu în sus și cum se mișcă planetele în jurul Soarelui.

Student mediocru la Cambridge, în anii 1660, Newton a început prin a citi marile lucrări de matematică. Prin intermediul lor, el a fost atras de la dreptul civil spre legile fizicii. Apoi, în timpul unui an sabatic petrecut acasă, în timp ce universitatea era închisă din cauza unei epidemii de ciumă, Newton a făcut primii pași spre elaborarea celor trei legi ale mișcării.

CRONOLOGIE

cca 350 î.Hr.

Aristotel afirmă, în *Fizica*, faptul că mișcările sunt datorate schimbărilor care au loc.

1640 d.Hr.

Galileo formulează Principiul inerției.

Forțele Preluând principiul inerției al lui Galileo, Newton a formulat prima sa lege. Aceasta afirmă că un corp nu se mișcă sau nu își schimbă viteza dacă nu acționează o forță. Corpurile care nu se mișcă vor rămâne pe loc dacă nu se aplică o forță; corpurile care se mișcă cu o viteză constantă vor continua să se miște cu aceeași viteză dacă asupra lor nu acționează o forță. O forță (de exemplu, o împingere) generează o accelerație care modifică viteza obiectului. Accelerația este o schimbare a vitezei într-un anumit timp.

Este greu să constatăm acest lucru în experiența noastră. Dacă lansăm un puc de hochei pe gheață, acesta va aluneca, dar, până la urmă, va încetini din cauza frecării cu gheața. Frecarea generează o forță care încetinește pucul. Dar legea întâi a lui Newton poate fi observată în cazuri speciale, în care nu există frecare. Cel mai mult ne putem apropia de această condiție în spațiul cosmic, dar chiar și acolo acționează forțe ca gravitația. Totuși, această primă lege oferă un reper de bază, de la care putem înțelege forțele și mișcarea.

Accelerația Cea de-a doua lege a mișcării a lui Newton leagă mărimea forței de accelerația pe care o produce. Forța necesară pentru a accelera un obiect este direct proporțională cu masa obiectului. Obiectele grele – sau, mai bine spus, cele cu inerție mare – au nevoie de o forță mai mare pentru a accelera decât obiectele mai ușoare. Așadar, pentru ca o mașină să accelereze de la zero la 100 de kilometri pe oră într-un minut este nevoie de o forță egală cu masa mașinii înmulțită cu creșterea vitezei sale în unitatea de timp.

Cea de-a doua lege a lui Newton este exprimată matematic prin formula „ $F = ma$ ”, forța (F) este egală cu masa (m) înmulțită cu accelerația (a). Inversând

Legile mișcării ale lui Newton

Legea întâi Corpurile se mișcă în linii dreapte cu o viteză uniformă sau rămân pe loc până când o forță acționează pentru a li schimba viteza sau direcția.

Legea a doua Forțele produc accelerații care sunt invers proporționale cu masa corpului ($F = ma$)

Legea a treia Drice acțiune a unei forțe provoacă o reacțiune egală și opusă.

1687

Newton publică *Principiile*.

1905

Einstein publică Teoria relativității restrânse.

această definiție, a doua lege, exprimată în alt mod, arată că accelerația este egală cu forța împărțită la masă. În cazul unei accelerații constante, forța per unitatea de masă este, de asemenea, neschimbată. Prin urmare, este nevoie de aceeași forță pentru a mișca un kilogram dintr-o masă, fie că acesta face parte dintr-un corp mare sau mic. Această idee explică experimentul imaginar al lui Galileo, care s-a întrebat care obiect ar atinge primul pământul, dacă ar fi aruncate simultan: o ghiulea de tun sau o pană? Vizualizând cele două obiecte, am putea crede că ghiuleaua de tun ar ajunge înaintea penei, care plutește prin aer. Dar acest lucru se datorează doar rezistenței aerului, care poartă pana în zbor. Dacă nu ar fi aer, amândouă ar cădea în același timp, lovind pământul deodată. Ele au aceeași accelerație și sunt supuse aceleiași forțe gravitaționale, așa că ar cădea una lângă cealaltă. Astronauții misiunii Apollo 15 au arătat că, pe Lună, unde nu există atmosferă care să încetinească obiectele, o pană cade în același timp cu ciocanul unui geolog.

Acțiunea este egală cu reacțiunea A treia lege a lui Newton afirmă că orice forță aplicată asupra unui corp generează în acel corp o reacțiune egală și de sens contrar. Cu alte cuvinte, pentru fiecare acțiune există o reacțiune. Forța opusă este resimțită ca un recul. Dacă o patinatoare își împinge partenerul, atunci și ea va da înapoi, în timp ce îl împinge pe acesta înainte. Un trăgător la țintă simte lovitura puștii în umăr atunci când trage. Forța de recul este egală ca mărime cu cea aplicată, la origine, asupra trăgaciului și a glonțului. De multe ori, în filmele polițiste, victima unei împușcături este împinsă înapoi de forța glonțului. Acest lucru este fals. Dacă forța ar fi într-adevăr atât de mare, atunci și trăgătorul ar trebui să fie împins înapoi de reculul armei sale. Chiar și atunci când sârim în sus de la sol exercităm o forță mică asupra Pământului, dar, pentru că Pământul are o masă cu mult mai mare decât a noastră, nu se observă nimic.

Cu aceste trei legi, plus gravitația, Newton a putut explica mișcarea tuturor obiectelor, de la căderea ghindelor la ghiulele trase dintr-un tun. Datorită acestor trei ecuații, el ar fi putut cu toată încrederea să se urce pe o motocicletă și să accelereze pe Zidul Morții, dacă acestea ar fi existat în epoca lui. Cât de multă încredere puteți avea în legile lui Newton? Legea întâi spune că motocicleta și motociclistul vor să continue să meargă într-o direcție, cu o anumită viteză. Dar, pentru a menține motocicleta într-o mișcare circulară este nevoie, după cum spune cea de-a doua lege, de o forță de constrângere

Isaac Newton 1643-1727

Isaac Newton a fost primul savant care a primit titlul de cavalier în Marea Britanie. Deși a fost „joneș” și „neakent” în școli și un student mediu la Universitatea Cambridge, Newton a început să își arate geniul când o epidemie de ciumă a dus la închiderea universității, în vara lui 1665.

Reîntors acasă, în Lincolnshire, Newton s-a dedicat matematicii, fizicii și astronomiei și chiar a pus bazele calculului diferențial și integral. Astfel a elaborat versiuni timpurii ale celor trei legi ale mișcării și a dedus faptul că planetele sunt susținute de orbite de o forță invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele și Soare, concluzie crucială pentru elaborarea legii atracției gravitaționale. După această revărsare remarcabilă de

idei, Newton a fost ales, la doar 27 de ani, ca membru al catedrei de matematică a universității, înfruptându-și atenția spre optică. Newton a descoperit, cu ajutorul unei prisme, că lumina albastră este alcătuită din culorile curcubeului și a avut o dispută celebră cu Robert Hooke și Christiaan Huygens pe această temă.

Newton a scris două lucrări fundamentale, *Philosophiæ naturalis Principia mathematica* (*Principiile matematice ale filosofiei naturii*) sau, pe scurt, *Principia* și *Optica*. Newton s-a implicat și în politică. El a apărut libertatea academică atunci când regele Iacob al II-lea a încercat să se amestece în numirea de profesori și a devenit membru al Parlamentului în 1689.

care să îl schimbe continuu direcția, forță aplicată, în acest caz, de către pistă, prin intermediul roților. Forța necesară este egală cu masa motocicletei și a motociclistului, înmulțită cu accelerația lor. Apoi, cea de-a treia lege explică presiunea exercitată de către motocicletă asupra pistei, întrucât este declanșată o forță de reacțiune. Această presiune este cea care îl menține pe motociclist pe zidul înclinat, iar dacă motocicleta merge suficient de repede, poate să meargă chiar pe un zid vertical.

Chiar și astăzi, legile lui Newton sunt aproape tot ce trebuie să știm ca să descriem forțele implicate în conducerea rapidă a unei mașini într-un viraj sau, Doamne ferește!, într-o clocnire. Legile lui Newton nu se aplică în cazul obiectelor care se mișcă cu viteze apropiate de cea a luminii sau cu mase foarte mici. Aceste situații extreme sunt explicate de teoria relativității a lui Einstein și de mecanica cuantică.

Ideede bază
mișcare ăptată

03 Legile lui Kepler

Johannes Kepler căuta tipare în orice. Studiind tabelele astronomice care descriu mișcările în buclă ale planetei Marte pe cer, el a descoperit trei legi care guvernează mișcarea orbitală a planetelor. Kepler a arătat că planetele urmează orbite eliptice și că planetele mai îndepărtate se învârt mai lent în jurul Soarelui. În afară de faptul că au revoluționat astronomia, Legile lui Kepler au pus bazele Legii atracției gravitaționale a lui Newton.

” MI-AM DAT SEAMA, DEODATĂ, CĂ BOBUL MICUȚ DE MAZĂRE, FRUMOS ȘI ALBASTRU, ERA PĂMÂNTUL. MI-AM RIDICAT DEGETUL MARE ȘI MI-AM ACOPERIT UN OCHI. IAR DEGETUL MEU A ACOPERIT PĂMÂNTUL. NU MI-AM SIMȚIT CA UN URIAȘ. MI-AM SIMȚIT FOARTE, FOARTE MIC. “

Neil Armstrong, n. 1930

Planetele se învârt în jurul Soarelui, iar cele mai apropiate se mișcă mai repede decât cele mai îndepărtate. Mercur descrie întreaga sa orbită în jurul Soarelui în doar 88 de zile pământene. Dacă Jupiter s-ar mișca cu aceeași viteză, i-ar trebui aproximativ 3,5 ani pământeni ca să își parcurgă orbita, când, de fapt, o parcurge în 12 ani. În timp ce planetele trec unele prin dreptul altora, când sunt văzute de pe Pământ, unele par să meargă înapoi, atunci când Pământul le depășește. În epoca lui Kepler, aceste mișcări „retrograde” erau o mare enigmă. Rezolvarea acestei enigme i-a oferit lui Kepler perspectiva pentru elaborarea celor trei legi ale mișcărilor planetare.

Tiparele poliganelor Matematicianul german Johannes Kepler căuta tipare în natură. A trăit în secolul al XVI-lea și la începutul secolului al XVII-lea, o perioadă în care astrologia era luată foarte în serios, iar astronomia, ca ramură a fizicii, era încă în fașă. Ideile religioase și spirituale erau la fel de importante în explicarea legilor naturii ca și observația. Fiind un mistic care credea că

CRONOLOGIE

cca 580 î.Hr.	cca 150 d.Hr.	1543
Pitagora afirmă că plantele se mișcă pe orbite în sfere perfecte din cristal.	Ptolemeu observă mișcarea retrogradă și sugerează că planetele se mișcă pe orbite epitactice.	Copernic afirmă că planetele se învârt în jurul Soarelui.

Johannes Kepler 1571–1630

Johannes Kepler a fost pasionat de astronomie de la o vârstă fragedă, înregistrând în jurnalul său înainte de a implini nise un, apariția unei comete și producerea unei eclipse de lună. În timp ce era profesor la Graz, Kepler a elaborat o teorie cosmologică publicată în *Mysterium Cosmographicum* (*Misterul sacru al cosmosului*). Ulterior, a fost ajutorul astronomului Tycho Brahe la observatorul acestuia din lângă Praga, moștenind postul acestuia de matematician imperial în 1601. Kepler pregătise horoscopul

impăratului și analiza tabelele astronomice ale lui Tycho, publicându-și, în acest timp, teoria orbitelor neregulate și prima și a doua lege a mișcării planetelor, în *Astronomia Nova* (*Nova astronomia*) în 1609, mama lui Kepler a fost internată sub acuzația de vrăjitorie și a fost eliberată doar după eforturile inginerilor acestuia. Cu toate acestea, a reușit să își continue activitatea publicându-și cea de-a treia lege a mișcării planetelor în *Harmonices Mundi* (*Armonia lumilor*).

structura subtilă a universului era construită din forme geometrice perfecte, Kepler și-a consacrat viața descoperirii tiparelor poligoanelor perfecte imaginare ascunse în lucrările naturii.

Activitatea lui Kepler a început la un secol după ce astronomul polonez Nicolaus Copernic afirmase că Soarele se află în centrul Universului, iar Pământul orbitează Soarele, și nu invers. Înainte de el, de la filosoful grec Ptolemeu, se credea că Soarele și stelele se învârt în jurul Pământului în sfere solide de cristal. Copernic nu a îndrăznit să își publice ideea radicală în timpul vieții, ci le-a transmis-o colegilor lui chiar înainte de a muri, de teamă că ar fi contrazis doctrina bisericii. Chiar și după moarte, Copernic a provocat o mare agitație afirmând că Pământul nu era centrul universului, ceea ce implica faptul că oamenii nu erau cele mai importante ființe din univers, favoritele de un Dumnezeu antropocentric.

Kepler a adoptat ideea heliocentrismului lui Copernic, dar credea că planetele se învârt în jurul Soarelui urmând orbite circulare. El a imaginat un sistem în care orbitele planetelor alcătuiesc o serie de sfere închise unele în altele, la distanțe delimitate prin proporții matematice derivate din mărimea corpurilor

1576

Tycho Brahe alcătuiește harta pozițiilor planetelor.

1609

Kepler descoperă că planetele se mișcă pe orbite eliptice.

1687

Newton explică legile lui Kepler prin legea atracției gravitaționale.

” SUNTEM DOAR O SPECIE AVANSATĂ DE MAIMUȚE PE O PLANETĂ INSIGNIFIANTĂ A UNEI STELE FOARTE OBIȘNUITE. DAR PUTEM ÎNȚELEGE UNIVERSUL. ASTA NE FACE FOARTE SPECIALI. “

Stephen Hawking, 1989

tridimensionale care pot fi cuprinse în acestea. Ideea că legile naturii se supun proporțiilor geometrice își avea originea în Grecia antică.

Cuvântul planetă vine de la cuvântul grecesc care înseamnă „rătăcitor”. Întrucât celelalte planete din sistemul nostru solar se află mult mai aproape de Pământ decât stelele îndepărtate, ele par că hoinăresc pe cer. Noapte după noapte, ele urmează o cale printre stele. Din când în când, însă, se întorc din drum și fac o mică buclă înapoi. Aceste mișcări retrograde erau considerate ca fiind de rău augur. În

modelul ptolemeic al mișcărilor planetare, acest comportament era imposibil de înțeles, așa că astronomii adăugau „epicicluri” sau bucle suplimentare la orbita unei planete, care reproduceau această mișcare. Dar epiciclurile nu funcționau foarte bine. Pentru universul heliocentric al lui Copernic era nevoie de mai puține epicicluri decât pentru vechiul univers cu Pământul în centru, dar tot nu puteau fi explicate detabile fine.

Legile lui Kepler

Legea întâi Orbitale planetare sunt eliptice, cu Soarele într-unul din focare.

Legea a doua O planetă acoperă o arie egală în intervale egale de timp, în timp ce orbitează Soarele.

Legea a treia Durata parcurgerii elipsei este proporțională cu mărimea elipsei, astfel încât durata la pătrat este proporțională cu jumătatea din lungimea celui mai mare ax al elipsei la puterea a treia.

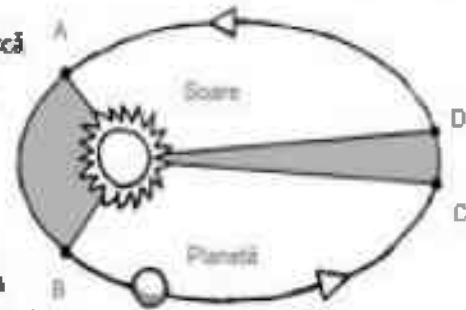
Încercând să moduleze orbitele planetelor pentru a susține ideile sale geometrice, Kepler a folosit cele mai precise date disponibile, tabele complexe ale mișcărilor planetelor pe cer, realizate minuțios de Tycho Brahe. În aceste coloane de numere, Kepler a văzut tipare care i-au sugerat cele trei legi.

Kepler a avut o străfulgerare de geniu descifrând mișcările retrograde ale planetei Marte. El și-a dat seama că buclele înapoi ar putea fi explicate dacă orbitele planetelor ar fi eliptice în jurul Soarelui, și nu circulare, cum se crezuse până atunci. În mod ironic, acest lucru însemna că natura nu se încadrează în

forme geometrice perfecte. Kepler a fost, probabil, încântat de succesul său în stabilirea orbitelor, dar și șocat de faptul că întreaga sa filosofie a geometriei pure se dovedise greșită.

Orbitele În legea întâi, Kepler a arătat că planetele se mișcă pe orbite eliptice, cu Soarele într-unul din cele două focare ale elipsei.

Cea de-a doua lege a lui Kepler descrie cât de rapid se mișcă o planetă de-a lungul orbitei sale. Pe măsură ce o planetă se deplasează de-a lungul traiectoriei sale, ea acoperă un segment de suprafață egal, într-un interval de timp egal. Segmentul se măsoară folosind unghiul format de Soare și de cele două poziții ale planetelor (AB sau CD), ca o felie de plăcintă. Deoarece orbitele sunt eliptice, când planeta este mai aproape de Soare, trebuie să parcurgă o distanță mai mare pentru a acoperi aceeași arie ca atunci când este mai departe.



Prin urmare, planeta se mișcă mai repede când este aproape de Soare decât atunci când este mai departe. Deși Kepler nu și-a dat seama atunci, acest comportament este datorat, în ultimă instanță, gravitației care accelerează mai mult planeta când aceasta este aproape de masa Soarelui.

Legea a treia a lui Kepler merge mai departe și ne arată cum durata parcurgerii orbitei (mișcarea de revoluție) se ajustează la elipse de diferite dimensiuni, aflate la distanțe diferite față de Soare. Ea arată că pătratul duratei mișcării de revoluție este proporțional cu mărimea celei mai lungi axe ale orbitei eliptice la puterea a treia. Cu cât este mai mare orbita eliptică, cu atât este mai mare perioada necesară pentru parcurgerea orbitei. Prin urmare, planetele mai îndepărtate de Soare se mișcă pe orbită mai lent decât planetele mai apropiate. Marte face o rotație completă în jurul Soarelui în aproape 2 ani terestri, Saturn în 29 de ani, iar Neptun în 165 de ani.

Cu aceste trei legi, Kepler a reușit să descrie orbitele tuturor planetelor din sistemul nostru solar. Legile sale se aplică identic oricărui corp care orbitează în altul, de la comete, asteroizi și luni din sistemul nostru solar până la planete din jurul altor stele și chiar sateliți artificiali care roiesc în jurul Pământului. Kepler a reușit să unifice principiile în legi geometrice, dar nu a știut de ce funcționează aceste legi. El credea că legile sunt explicate prin tiparele geometrice ale naturii. A fost nevoie de Newton pentru a unifica aceste legi într-o teorie universală a gravitației.

**” AM SCRUTAT CERUL,
DAR ACUM SCRUTEZ
UMBRELE. MINTEA MI-A
FOST ÎN CER, TRUPUL ZACE
ACUM ÎN PĂMÂNT. “**

Epitaful lui Kepler, 1630

Idee de bază
legea lumilor

04 Legea gravitației a lui Newton

Isaac Newton a făcut un salt uriaș înainte când a legat mișcările ghiulelelor și ale fructelor care cad din pomi de mișcările planetelor, legând astfel cerul și Pământul. Legea gravitației rămâne una dintre cele mai importante idei ale fizicii, explicând în mare parte comportamentul fizic al lumii noastre. Newton a arătat că toate corpurile se atrag unele pe celelalte prin intermediul forței gravitației și că mărimea acesteia scade cu pătratul distanței.

Se spune că ideea gravitației l-a venit lui Isaac Newton când a văzut un măr căzând dintr-un pom. Nu știm dacă este adevărat sau nu, dar Newton și-a extins ideea de la mișcările de pe Pământ la cele ale corpurilor cerești pentru a elabora legea sa a gravitației.

” **GRAVITAȚIA ESTE
UN OBICEI
DE CARE ESTE GREU
SĂ SCAPI.** “

Terry Pratchett, 1992

Newton și-a dat seama că obiectele sunt atrase spre pământ de un fel de forță de accelerație (vezi p. 8). Dacă merele cad din pom, ce s-ar întâmpla dacă pomul ar fi mai înalt? Cum ar fi dacă ar ajunge până la Lună? De ce nu cade Luna pe Pământ ca un măr?

Toate lucrurile cad Răspunsul lui Newton își are baza în legile sale ale mișcării, care leagă forțele, masa și accelerația. O ghiulea trasă dintr-un tun parcurge o anumită distanță înainte de a cădea pe Pământ. Ce s-ar întâmpla dacă ar fi lansată cu viteză mai mare? Atunci ar ajunge mai departe. Dacă ar fi trasă cu o viteză atât de mare încât ar parcurge în linie dreaptă o distanță suficient de mare încât Pământul s-ar curba sub ea, unde ar cădea? Newton și-a dat seama că ar fi atrasă

CRONOLOGIE

350 î.Hr.

Aristotel se întreabă
de ce cad obiectele.

1609 d.Hr.

Kepler formulează legile
orbitelor planetare.

1640

Galileo formulează
principiul inerției.

de Pământ, dar ar urma apoi o orbită circulară. La fel ca un satelit, care este atras continuu, dar nu ajunge niciodată pe Pământ.

Când aruncătorii de ciocan se răsucesc pe călcâie, prin tragerea lanțului, mențin ciocanul în rotație. Dacă nu ar trage astfel, ciocanul ar zbura în linie dreaptă, așa cum zboară când este lansat. La fel se întâmplă în cazul ghiulelei lui Newton – în absența forței centripete care leagă proiectilul de Pământ, acesta ar zbura în spațiu. Ducând raționamentul mai departe, Newton și-a dat seama că Luna rămâne pe cer pentru că este susținută, de asemenea, de legătura invizibilă a gravitației. În absența gravitației, și Luna ar zbura în spațiu.



Legea inversului pătratului distanței Newton a încercat, apoi, să își cuantifice observațiile. După un schimb de scrisori cu Robert Hooke, Newton a arătat că gravitația urmează o lege a inversului pătratului distanței – forța gravitației scade odată cu pătratul distanței față de un corp. Prin urmare, dacă te deplasezi la dublul unei distanțe față de un corp, forța gravitației acestuia este de patru ori mai mică; atracția gravitațională exercitată de Soare este de patru ori mai mică în cazul unei planete aflate pe o orbită de două ori mai îndepărtată decât cea a Pământului sau o planetă aflată la o distanță de trei ori mai mare ar resimți o atracție gravitațională de nouă ori mai mică.

Legea gravitației invers proporționale cu pătratul distanței a lui Newton a explicat printr-o ecuație orbitele tuturor planetelor, descrise în cele trei legi ale lui Johannes Kepler (vezi p. 12). Legea lui Newton a arătat că planetele se mișcă mai repede când sunt mai aproape de Soare, pe traiectoriile lor eliptice. O planetă

” ORICE OBIECT DIN UNIVERS ATRAGE ORICARE ALT OBIECT DE-A LUNGUL UNEI LINII CARE UNEȘTE CENTRELE LOR, CU O FORȚĂ DIRECT PROPORȚIONALĂ CU MASA FIECĂRUI OBIECT ȘI INVERS PROPORȚIONALĂ CU PĂTRATUL DISTANȚEI DINTRE OBIECTE. “

Isaac Newton, 1687

1687

Newton publică *Principia*.

1905

Einstein publică Teoria relativității restrânse.

1915

Einstein publică Teoria relativității generalizate.

resimte o forță a gravitației Soarelui mai mare când se află mai aproape de acesta, lucru care o face să accelereze. În timp ce viteza ei crește, planeta se îndepărtează din nou de Soare, încetinind treptat. Astfel, Newton a unificat toate descoperirile anterioare într-o teorie aprofundată.

Legea atracției universale Generalizând îndrăzneț, Newton a propus apoi ca teoria sa a atracției gravitaționale să se aplice tuturor lucrurilor din univers. Orice corp exercită o atracție gravitațională direct proporțională cu masa lui, iar forța scade direct proporțional cu pătratul distanței față de corpul respectiv. Prin urmare, oricare două corpuri se atrag între ele. Dar, întrucât gravitația este o forță slabă, observăm acest lucru doar în cazul corpurilor extrem de mari, cum ar fi Soarele, Pământul și planetele.

La suprafața Pământului, accelerarea datorată gravitației, denumită accelerarea gravitațională, are valoarea $9,8 \text{ m/s}^2$ și este proporțională cu pătratul invers al distanței.

La o cercetare mai atentă, însă, este posibil să observăm variații mici ale forței gravitației locale pe suprafața Pământului. Întrucât munții și stâncile de diferite densități pot mări sau micșora forța gravitației în apropierea lor, putem folosi un instrument de măsurare a gravitației pentru a face o hartă geologică a terenurilor și a afla mai multe despre structura scoarței terestre. Arheologii folosesc uneori mici variații ale gravitației pentru a localiza așezări îngropate. Recent, cercetătorii au folosit sateliți care măsoară gravitația pentru a măsura calota de gheață (în descreștere) care acoperă poliul Pământului și pentru a detecta schimbările produse în scoarța terestră după cutremure mari.

În secolul al XVII-lea, Newton a sintetizat toate ideile sale legate de gravitație într-o carte, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, cunoscută ca

Descoperirea planetei Neptun

Planeta Neptun a fost descoperită datorită Legii atracției gravitaționale a lui Newton. La începutul secolului al XIX-lea, astronomii au observat că Uranus nu urma o orbită obișnuită, ci se comporta ca și cum: eț corp îl influența. S-au făcut mai multe calcule pe baza Legii lui Newton, iar, în 1846, năuă planetă, denumită Neptun, după zeul mării, a fost descoperită, în apropierea poziției determinate teoretic. Astronomii britanici și francezi și-au disputat

descoperirea, creditul revenindu-le lui John Couch Adams și Urbain Le Verrier. Neptun are o masă de 17 ori mai mare decât a Pământului și este o „gigantă gazoasă”, cu o atmosferă groasă și densă de hidrogen, heliu, amoniac și metan, plutind în jurul unui miez solid. Culoarea albastră a norilor lui Neptun este datorată metanului. Vânturile sale sunt cele mai puternice din sistemul solar, atingând până la 2.500 de kilometri pe oră.

Maree

Newton a descris formarea mareelor în lucrarea sa *Principia*. Mareele se produc deoarece Luna exercită o atracție diferită asupra oceanelor din partea apropiată și din cea îndepărtată a planetei, comparativ cu pământul solid. Atracția gravitațională diferită din părțile opuse ale Pământului face ca suprafața apei să se curbeze spre Lună, respectiv să se îndepărteze de aceasta, fenomen care provoacă marea ce se repetă la 12 ore. Deși Soarele, care este mai masiv, exercită o atracție gravitațională mai mare asupra Pământului decât Luna, Luna

produce marea mai puternică deoarece este mult aproape de Pământ. Legea inversului pătratului distanței face ca gradientul gravitațional (diferența relativă între partea mai apropiată și cea mai îndepărtată a Pământului) să fie mai mare în cazul Lunii decât aproape de două ori în cazul Soarelui, mai îndepărtat. Când este lună plină sau lună nouă, Pământul, Soarele și Luna sunt aliniate și se formează marea înaltă, numită „maree de primăvară”. Când acești corași canisți fac un unghi de 90 de grade, se formează marea mai slabă, denumită maree „de cuadratură”.

Principia. Publicată în 1687, rămâne un reper științific. Legea atracției universale a lui Newton a explicat mișcările nu doar ale planetelor și ale sateliților lor, ci și ale proiectilelor, pendulelor și ale merelor. El a explicat orbitele cometelor, formarea mareelor și oscilația axei Pământului, făcând din Newton unul dintre cei mai mari savanți ai tuturor timpurilor.

” S-A SPUS CĂ A CONTESTA
GLOBALIZAREA ESTE CA ȘI
CUM AI CONTESTA LEGEA
GRAVITAȚIEI. “

Kofi Annan, n.1938

Legea gravitației universale a lui Newton se dovedește valabilă de sute de ani și chiar și astăzi oferă o descriere simplă a mișcării corpurilor. Cercetătorii secolului XX au elaborat pe fundamentele ei, în special Einstein, cu teoria sa a relativității generalizate. Atracția gravitațională a lui Newton se aplică majorității obiectelor pe care le vedem și comportamentului planetelor, cometelor și asteroizilor, unde gravitația este destul de slabă. Deși Legea gravitației a lui Newton a fost suficient de puternică pentru determinarea poziției planetei Neptun, orbita altei planete, Mercur, a fost cea pentru care a fost nevoie de o fizică dincolo de cea a lui Newton. Este nevoie de teoria relativității generalizate pentru a explica situațiile în care gravitația este foarte puternică, cum ar fi în apropierea Soarelui, a stelelor și a găurilor negre.

Idee de bază
atracția masei

05 Conservare energiei

Energia este o forță care animă, care face lucrurile să se miște sau să se schimbe. Există în multe forme și se poate manifesta ca o schimbare în traiectorie sau în viteză, sub forma undelor electromagnetice care se transmit sau sub forma vibrațiilor atomilor care produc căldură. Deși energia se poate metamorfoza între aceste forme, cantitatea totală de energie este conservată întotdeauna. Nu poate fi creată mai multă energie și energia nu poate fi distrusă niciodată.

Suntem toți familiarizați cu energia ca impuls de bază. Dacă suntem obosiți, ne lipsește; dacă sărim în sus de bucurie, o avem. Dar ce este energia? Energia care ne impulsează corpurile vine din substanțe chimice care ard, transformând moleculele dintr-un tip în altul și eliberând energie în acest proces. Dar ce fel de energie îl face pe un schior să accelereze în josul unei pante sau face un bec să strălucească? Sunt aceste tipuri de energie identice?

Pentru că există în atât de multe forme, energia este greu de definit. Nici măcar acum fizicienții nu știu ce este în sine, deși sunt experți în a descrie ce face și cum se folosește. Energia este o proprietate a materiei și a spațiului, un fel de combustibil sau de impuls încapsulat, cu potențialul de a crea, a mișca sau a schimba. Filosofi naturali, începând cu grecii, aveau o vagă idee despre energie ca o forță sau o esență care dă viață obiectelor, iar această idee ne-a rămas de-a lungul secolelor.

Schimbul de energie Galileo a fost cel care a observat că energia poate fi transformată dintr-un tip în altul. Privind un pendul care oscila dintr-o parte în alta, a observat că înălțimea bilei se modifică odată cu viteza, până când bila cade și ciclul se repetă. Bila pendulului nu are viteză laterală atunci când se află

CRONOLOGIE

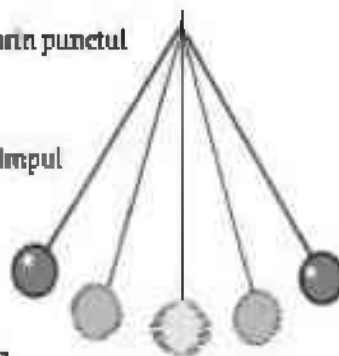
cca 600 î.Hr.

Thales din Millet arată că materia își schimbă forma.

1638 d.Hr.

Galileo observă schimbul de energie cinetică și potențială în mișcarea unui pendul.

la oricare dintre extremități și se mișcă mai repede atunci când trece prin punctul aflat cel mai jos.



Galileo s-a gândit că două forme de energie se schimbă între ele în timpul mișcării bilei. Una este energia potențială gravitațională, care poate ridica o bilă de la Pământ, opunându-se forței gravitației. Energia gravitațională trebuie mărită pentru a ridica o masă mai sus și este eliberată când aceasta cade. Dacă ai urcat vreodată cu bicicleta pe o pantă abruptă, știi că este nevoie de multă energie pentru a contracara gravitația. Celălalt tip de energie din bilă este energia cinetică – energia mișcării care însoțește viteza. Prin urmare, pendulul convertește energia potențială gravitațională în energie cinetică și viceversa. Un ciclist bun se folosește de exact același mecanism. Când coboară o pantă abruptă, poate accelera și cobori în mare viteză până în punctul cel mai jos, chiar fără să pedaleze, și poate folosi acea viteză pentru a urca o parte din panta următoare (vezi caseta).

La fel, o transformare simplă a energiei potențiale în energie cinetică poate fi folosită pentru a alimenta casele noastre cu energie electrică. Mecanismele hidroelectrice și barajele eliberează apa de la înălțime, folosind viteza acesteia pentru a pune în mișcare turbine și a genera electricitate.

Multiplele forme ale energiei Energia se manifestă sub multe forme diferite, care pot fi stăpânite temporar în diverse moduri. Un resort comprimat poate păstra în el energie elastică, iar aceasta poate fi eliberată la comandă. Energia calorică intensifică vibrațiile atomilor și ale moleculelor în materialul fierbinte. Prin urmare, o tigăie din metal sau o plită

Formule ale energiei

Energia potențială gravitațională (EP) este redată algebric prin formula $EP = mgh$, sau masă (m) înmulțită cu accelerația gravitațională (g) înmulțită cu înălțimea (h). Această formulă este echivalentă cu forța ($F = ma$ din Legea a doua a lui Newton) înmulțită cu distanța. Prin urmare, o forță transmite energie.

Energia cinetică (EC) este redată prin formula $CE = \frac{1}{2}mv^2$. Prin urmare, cantitatea de energie crește cu pătratul vitezei (v). Aceasta se mai calculează și înmulțind forța medie cu distanța pe care este mișcat un corp.

1676

Leibniz redă prin formule matematice schimbul de energie și îl numește *vis viva*.

1807

Young folosește denumirea de „energie”.

1905

Einstein arată că masa și energia sunt echivalente.

se încălzească pentru că atomii din ele sunt forțați să vibreze mai rapid printr-un adaos de energie. Energia poate fi transmisă și sub forma undelor electrice sau magnetice, cum ar fi undele luminoase sau radio, iar energia stocată chimic poate fi eliberată prin reacții chimice, așa cum se întâmplă chiar în sistemul nostru digestiv.

Einstein a arătat că masa în sine are o energie asociată, care poate fi eliberată dacă materia este distrusă. Prin urmare, masa și energia sunt echivalente. Aceasta este celebra lui ecuație $E = mc^2$ – energia (E) eliberată prin distrugerea unei mase (m) este egală cu m înmulțită cu viteza luminii (c) la pătrat. Această energie este eliberată într-o explozie nucleară sau în reacțiile de fuziune din Soarele nostru (vezi pp. 136–143). Pentru că este proporțională cu viteza luminii la pătrat, care este foarte mare (lumina călătorește cu 300 de milioane de metri pe secundă în vid), cantitatea de energie eliberată prin distrugerea chiar și a câtorva atomi este enormă.

Consumăm energie în casele noastre și o folosim în industrie. Vorbim despre energie ca fiind produsă, dar, în realitate, este transformată dintr-un tip în altul. Luăm energie chimică din cărbuni sau gaze naturale și o transformăm în căldură care învârtă turbine și generează electricitate. Până la urmă, chiar și energia chimică din cărbuni sau din gaz provine de la Soare, prin urmare, energia solară stă la baza a tot ceea ce există pe Pământ. Deși suntem îngrijorați de faptul că rezervele de energie ale Pământului sunt limitate, cantitatea de energie care poate fi luată de la Soare ar fi mai mult decât suficientă pentru nevoile noastre, dacă am putea să o stăpânim.

Conservarea energiei Conservarea energiei ca lege a fizicii înseamnă mult mai mult decât reducerea consumului casnic de energie; această lege arată că întreaga cantitate de energie rămâne aceeași, chiar dacă se modifică dintr-o formă în alta. Acest concept a apărut relativ recent, numai după ce numeroase tipuri de energie au fost studiate individual. La începutul secolului al XIX-lea, Thomas Young a introdus denumirea de energie; înainte, această forță vitală fusese denumită *vis viva* de către Gottfried Leibniz, care a elaborat formulele matematice ale mișcării pendulului.

S-a constatat repede că energia cinetică nu se conserva ca atare. Bilele și roțile zburătoare încetinesc și nu se mișcău continuu. Dar mișcările rapide făceau deseori ca mecanismele să se încălzească prin frecare, ca atunci când se lansau proiectile

din tancuri metalice, astfel încât cei care făceau experimente au dedus că una dintre formele pe care le lua energia eliberată era căldura. Analizând toate tipurile diferite de energie implicate în funcționarea mașinilor, savanții au început să demonstreze că energia se transformă dintr-un tip în altul și nu este distrusă ori creată.

Momentul cinetic Ideea conservării în fizică nu se limitează la energie. Două alte concepte sunt extrem de apropiate – conservarea momentului cinetic liniar și conservarea momentului cinetic unghiular. Momentul cinetic liniar este definit ca produsul dintre masă și viteză și arată dificultatea încetării unui corp în mișcare. Prin urmare, un camion care se deplasează cu 60 de kilometri pe oră are un moment cinetic mai mare decât un automobil care merge cu aceeași viteză și ar provoca distrugerii și mai mari dacă v-ar lovi. Momentul cinetic nu are doar o mărime, ci, datorită vitezei, are și o direcție specifică. Obiectele care se ciocnesc schimbă între ele moment cinetic, astfel încât acesta este conservat în ansamblu, atât ca mărime, cât și ca direcție. Prin urmare, dacă lovești o bilă care stă cu una care se mișcă, traiectoria finală a ambelor bile va fi o combinație a vitezei și a direcției bilei care se mișca inițial. Viteza și direcția ambelor bile pot fi estimate presupunând că momentul cinetic se conservă în toate direcțiile.

Conservarea momentului cinetic unghiular este similară. Momentul cinetic unghiular, pentru un obiect care se învârtă în jurul unui punct, este definit ca produsul dintre momentul cinetic liniar al obiectului și distanța acestuia față de punctul de rotație. Conservarea momentului cinetic unghiular este folosită de patinatorii care fac piruete pe gheață. Când își întind brațele și picioarele, se rotesc mai lent, dar, apropiindu-și membrele de corp, se pot roti mai repede. Acest fenomen se produce deoarece scăderea dimensiunilor cere, pentru compensare, o viteză de rotație mai mare. Încearcă să faci acest lucru și într-un scaun de birou care se învârtă; principiul se aplică și în acest caz.

Conservarea energiei și a momentului cinetic rămân principii fundamentale ale fizicii moderne, care și-au găsit locul și în domenii cum ar fi teoria relativității generalizate și mecanica cuantică.

Idee de bază

energia indestructibilă

06 Mișcarea armonică simplă

Multe vibrații urmează o mișcare armonică simplă, care este similară oscilației unui pendul. Înrudită cu mișcarea circulară, poate fi observată la atomii care vibrează, în circuitele electrice, la valuri, unde luminoase și chiar la podurile care vibrează. Deși mișcarea armonică simplă este predictibilă și stabilă, adăugarea unor forțe suplimentare chiar și mici o poate destabiliza și poate provoca o catastrofă.

Vibrațiile sunt foarte răspândite. Toți ne-am așezat repede și ne-am balansat câteva secunde pe un pat sau pe un scaun cu arcuri tari, am ciupit, poate, o coardă de chitară, ne-am întins după un cablu electric care se balansa sau am ascultat ceva la un difuzor. Toate acestea sunt tipuri de vibrații.

Mișcarea armonică simplă descrie modul în care un obiect care este împins de la locul lui resimte o forță corectoare ce încearcă să îl redreseze. Depășind punctul de plecare, obiectul oscilează înainte și înapoi, până când revine în poziția inițială. Pentru a provoca o mișcare armonică simplă, forța corectoare se opune totdeauna mișcării obiectului și este proporțională cu distanța la care obiectul este mutat. Prin urmare, când obiectul se îndepărtează, resimte o forță mai mare, care îl împinge înapoi. Mișcându-se, este împins în cealaltă parte și, la fel ca un copil într-un leagăn, resimte din nou o împingere înapoi care, până la urmă, îl oprește și îl trimite înapoi în poziția inițială. Astfel, oscilează înainte și înapoi.

Penduluri O altă modalitate de a ne imagina mișcarea armonică simplă este să ne gândim la aceasta ca la o mișcare circulară proiectată pe o linie, cum ar

CRONOLOGIE

1640 d.Hr.

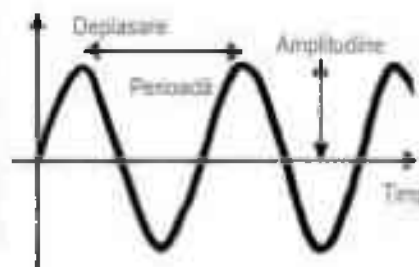
Galileo proiectează
ceasul cu pendulă.

1851

Pendulul lui Foucault arată
rotația Pământului.

fi umbra scaunului legănatului unui copil, așa cum apare pe pământ. La fel ca bila pendulului, umbra scaunului, mișcându-se înainte și înapoi în timpul legănatului, se mișcă mai lent aproape de capete și mai rapid în mijlocul ciclului său. În ambele cazuri, bila sau scaunul transformă energia potențială gravitațională, sau înălțimea, în energie cinetică, sau viteză.

Bila unui pendul care oscilează urmează o mișcare armonică simplă. În timp, distanța bilei față de punctul central trasează o linie sinuoasă sau un ton armonic la frecvența pendulului. Bila ar atârna vertical, în repaus, dar, atunci când este împinsă într-o parte, forța gravitației o trage înapoi spre centru și îi adaugă viteză, făcând oscilația să dureze.



Pământul care se rotește Pendurile sunt influențate de rotația Pământului. Rotația Pământului face planul oscilației pendulului să se răsucească lent. Dacă vă imaginați un pendul care atârna deasupra Polului Nord, acesta oscilează într-un plan care este fix în raport cu stelele. Pământul se rotește dedesubt, astfel încât, privind pendulul dintr-un loc oarecare de pe planetă, pare că mișcarea oscilatorie a acestuia se rotește cu 360 de grade într-o zi. Nu există un astfel de efect de rotație dacă pendulul atârna deasupra Ecuatorului, deoarece pendulul se rotește odată cu Pământul, prin urmare, planul său de oscilație nu se schimbă. La orice altă latitudine, efectul de rotație se situează între aceste valori. Prin urmare, faptul că Pământul se învârtă poate fi dovedit doar privind un pendul.

Fizicianul francez Léon Foucault a realizat o demonstrație celebră a acestui fapt atârând un pendul uriaș, lung de 70 de metri, de tavanul Pantheonului din Paris. Astăzi, multe muzee din lume găzduiesc penduluri ale lui Foucault. Pentru ca acestea să funcționeze, prima legănare trebuie să fie inițiată foarte ușor, pentru ca planul de oscilație să fie stabil și să nu fie indusă nici o răsucire. Modalitatea tradițională de a face acest lucru este să se lege bila cu o sfoară, iar apoi să se dea foc

1940

Podul peste strâmtoarea Tacoma se prăbușește.

2000

Podul Millenium sau podul „care se clatină” din Londra este afectat de rezonanță și este închis.

” **DACĂ O MONEDĂ
VECHE DE UN PENNY ESTE
ADĂUGATĂ LA PENDULUL
CEASULUI BIG BEN,
ACESTA CÂȘTIGĂ DOUĂ
CINCIMI DE SECUNDĂ PE
ZI. TREBUIE SĂ VEDEM CE
EFFECT VA AVEA O MONEDĂ
DE UN EURO.** “

Thwaites & Reed, 2001
(compania de întreținere
a ceasului Big Ben)

sforii cu o lumânare, pentru ca bila să fie eliberată ușor. Pentru a menține pendulul uriaș în mișcare mai mult timp, acesta este deseori ajutat de un motor, care contracarează încetinirea provocată de rezistența aerului.

Măsurarea timpului Deși este cunoscut încă din secolul al X-lea, pendulul nu a fost folosit pentru ceasuri până în secolul al XVII-lea. Timpul necesar pentru o oscilație completă a unui pendul depinde de lungimea firului. Cu cât este firul mai scurt, cu atât pendulul oscilează mai repede. Pentru a se menține precizia în măsurarea timpului, pendulul ceasului Big Ben din Londra este reglat prin adăugarea unor monede vechi de un

penny la butucul pendulului. Monedele schimbă centrul de greutate al bilei, iar această modificare este mai simplă și se poate realiza cu mai mare precizie decât ridicarea sau coborârea întregului pendul.

Mișcarea armonică simplă nu se limitează la penduluri, ci este extrem de des întâlnită în natură. Se observă oriunde sunt vibrații libere, de la curentul oscilatoriu din circuitele electrice la mișcarea particulelor în undele apelor și chiar la mișcarea atomilor din universul timpuriu.

Rezonanțele Vibrațiile mai complicate pot fi descrise pornind de la mișcarea armonică simplă și adăugând forțe suplimentare. Vibrațiile pot fi amplificate, adăugând energie suplimentară de la un motor, sau pot fi atenuate prin absorbirea

Vibrații bune

Circuitele electronice pot oscila când curentul care le străbate merge înainte și înapoi, exact ca mișcarea pendulurilor. Astfel, ele pot produce sunete electronice. Unul dintre cele mai vechi instrumente muzicale electronice este „thereminul”. Acesta produce sunete stranie și tonalități neașteptate și a fost folosit de formația Beach Boys în cântecul „Good Vibrations” („Vibrații bune”). Thereminul este format din două antene electronice și se cântă la el fără să fie ating, ci doar mișcând mâinile în apropierea lui. Cel care cântă controlează

înălțimea sunetului cu o mână și volumul cu cealaltă, fiecare mână acționând ca o parte a unui circuit electronic. Thereminul este denumit după inventatorul lui, fizicianul rus Leon Theremin, care l-a realizat în timp ce lucra la senzorii de mișcare pentru guvernul rus, în 1933. El a făcut o demonstrație în fața lui Lenin, care a fost impresionat, și a dus apoi instrumentul în Statele Unite, în 1920. Thereminurile au fost folosite de Robert Moog, care a creat mai târziu, creând sintetizatorul electronic, care a revoluționat muzica pop.

unei părți din energia lor, astfel încât să scadă. De exemplu, o coardă de violoncel poate fi făcută să vibreze mult timp prin clupirea ei cu regularitate.

Sau sunetul coardei unui pian poate fi atenuat punând pe ea un cub de fetru care să-l absoarbă energia. Forțele de acțiune, cum ar fi clupirea, pot fi sincronizate pentru a amplifica oscilațiile principale sau pot fi în contrapunct. Dacă nu sunt sincronizate, sistemul oscilatoriu poate începe foarte rapid să se comporte surprinzător de ciudat.

Această modificare importantă de comportament a pecetluit soarta unuia dintre cele mai lungi poduri din Statele Unite, podul peste strâmtoarea Tacoma din Washington. Acesta se comportă ca o coardă de chitară – vibrează cu ușurință la frecvențe specifice care corespund lungimii și dimensiunilor sale. Ca o coardă muzicală, rezonază cu această notă fundamentală, dar reverberează și cu armonicele (multiple) ale acelei note de bază. Inginerii încearcă să proiecteze poduri astfel încât notele lor fundamentale să fie extrem de diferite de frecvențele fenomenelor naturale, cum ar fi vibrațiile provocate de vânt, mașini în mișcare sau apă. Totuși, în acea zi fatidică, inginerii nu s-au pregătit îndeajuns.

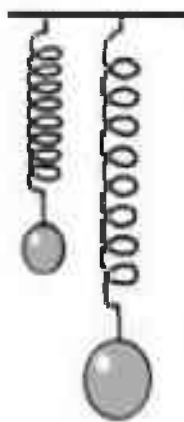
Podul peste strâmtoarea Tacoma este lung de 1,6 km și este construit din grăsi de oțel și din beton armat. Dar, într-o zi de noiembrie a anului 1940, vântul a devenit atât de puternic încât a declanșat oscilații de răsucire la frecvența de rezonanță a podului, făcându-l să se clatine puternic și, până la urmă, să se rupă și să se prăbușească. Din fericire, nu au fost răniți, cu excepția unei persoane mușcate de un câine speriat, pe care a încercat să îl scoată dintr-o mașină, înainte ca aceasta să cadă de pe pod. De atunci, inginerii au reparat podul și l-au fixat ca să nu se mai răsucească, dar chiar și astăzi podurile pot intra uneori în rezonanță din cauza unor forțe neprevăzute.

Vibrațiile care sunt amplificate de o energie suplimentară pot scăpa de sub control foarte repede și se pot comporta ciudat, devenind chiar haotice. Mișcarea armonică simplă este baza comportamentului stabil, dar stabilitatea este foarte ușor de tulburat.

Idee de bază
știința balansului

07 Legea lui Hooke

Dedusă inițial din alungirea arcurilor ceasurilor, Legea lui Hooke arată cum se deformează materialele când asupra lor sunt aplicate forțe. Materialele elastice se alungesc direct proporțional cu forța. Având numeroase contribuții în domeniul arhitecturii, dar și al științei, este ciudat că Robert Hooke este amintit doar pentru această unică lege. Dar, ca și descoperitorul ei, Legea lui Hooke influențează multe discipline, fiind folosită în inginerie și în construcții, dar și în știința rezistenței materialelor.



Când vă uitați ce oră este la ceasul de mână, îi sunteți îndatorați lui Robert Hooke, savantul multidisciplinar britanic din secolul al XVII-lea care a inventat nu doar mecanisme cu arcuri și cu roți ale ceasurilor de mână și deșteptătoare, ci a și construit Bedlam și a denumit celula din biologie. Hooke era un experimentator mai degrabă decât un matematician. El a realizat demonstrații la Societatea Regală din Londra și a inventat numeroase mecanisme. În timp ce lucra cu arcurile, a descoperit Legea lui Hooke, care spune că lungimea cu care un arc se întinde este direct proporțională cu forța cu care este tras. Prin urmare, dacă tragi de două ori mai puternic, arcul se alungește de două ori mai mult.

Elasticitatea Materialele care respectă Legea lui Hooke sunt denumite „elastice”. În afară de faptul că se alungesc, materialele elastice revin la forma lor inițială atunci când toate forțele sunt înlăturate – alungirea este reversibilă. Benzile de cauciuc și arcurile metalice se comportă astfel. Guma de mestecat, pe de altă parte, nu se comportă la fel – se alungește când trageți de ea, dar rămâne alungită când vă opriți. Multe materiale sunt elastice sub acțiunea unor forțe dintr-o gamă redusă de mărime. Dar dacă

CRONOLOGIE

1660 d.Hr.

Hooke descoperă legea elasticității.

1773

Harrison este premiat pentru măsurarea cu succes a longitudinii.

Robert Hooke 1635–1703

Robert Hooke: s-a născut pe insula Wight, în Anglia, ca fiu al unui diacon. A studiat la Christ Church, Oxford, lucrând ca asistent al fizicianului și chimistului Robert Boyle. În 1660, a descoperit legea elasticității care îi poartă numele și, în scurt timp după aceea, a fost numit curier pentru experimente la întâlnirile Societății Regale.

Pre publicarea cărții *Micrographia* (cinci ani mai târziu, Hooke a înlocuit termenul de „celule”) după ce a comparat, la microscop, aspectul celulelor de plante cu celule umane.

În 1666, Hooke a contribuit la reconstruirea Londrei după Marele Incendiu, lucrând împreună cu Christopher Wren.

A murit la Londra, în 1703, și a fost înmormântat la Bishopsgate din Londra, dar rămășițele lui au fost mutate, în secolul al XIX-lea, și unde se află acum nu se știe. În februarie 2006, a fost descoperită o copie demult pierdută a notelor lui Hooke de la întâlnirile Societății Regale, care acum este găzduită la Societatea Regală din Londra.

sunt trase prea mult, se pot rupe sau se subțiază. Alte materiale sunt prea rigide sau prea flexibile pentru a fi considerate elastice, de exemplu, ceramica sau lutul.

Potrivit Legii lui Hooke, pentru întinderea cu o anumită lungime a unui material elastic este nevoie întotdeauna de aceeași forță. Această forță specifică depinde de rigiditatea materialului (cunoscută ca modul elastic). Pentru alungirea unui material rigid este nevoie de o forță mare. Între materialele cu rigiditate extrem de mare se numără substanțele dure, cum ar fi diamantul, carbura de silicon și tungstenul. Între materialele mai flexibile se numără aliajul de aluminiu și fierul.

Despre un material care este alungit se spune că este supus unei tensiuni. Tensiunea este definită ca fiind creșterea procentuală în lungime provocată de alungire. Forța care este aplicată (pe unitatea de suprafață) este denumită efort unitar sau tensiune unitară. Rigiditatea este definită ca raportul dintre efortul unitar (tensiunea unitară) și tensiune. Multe materiale, incluzând oțelul, fibra de carbon și chiar sticla, au un modul elastic constant (pentru tensiuni mici) și, prin urmare, respectă Legea lui Hooke. Când construiesc clădiri, arhitecții și inginerii

1979

Au loc primul salt cu coarda elastică (bungee jumping), la Bristol, în Marea Britanie.

țin seama de aceste proprietăți, astfel încât atunci când sunt aplicate sarcini mari asupra structurii, aceasta nu se întinde sau nu se încovoie.

Sălt înapoi Legea lui Hooke nu este doar pentru ingineri. Mii de amatori de senzații tari se bazează pe această lege atunci când fac bungee jumping, sărind de pe o platformă înaltă, legați cu o coardă elastică. Legea lui Hooke îi spune săritorului cât de mult se va întinde coarda sub forța greutateii lui. Este vital ca acest calcul să fie făcut corect și să se folosească o coardă de lungime potrivită, pentru ca persoana care sare cu capul înainte spre fundul unui canion să fie trasă înapoi înainte să atingă stâncile. Bungee jumping ca sport a fost inventat de câțiva britanici pasionați de sporturi extreme, care au sărit de pe podul suspendat Clifton, din Bristol, în 1979. Inspirați, se pare, de imaginile transmise la televizor ale localnicilor din Vanuatu sărind de la mare înălțime cu liane legate de glezne, ca probă de curaj. Primii săritori au fost arestați, dar au continuat să sară de pe poduri, iar ideea lor s-a răspândit în întreaga lume, până când a devenit o experiență vândută contra cost.

Longitudinea Călătorii se bazează pe Legea lui Hooke pentru a-l ajuta să găsească drumul. Este ușor să se determine latitudinea, de la nord la sud, măsurând înălțimea la care se află Soarele sau stelele, dar este mult mai dificil să se afle longitudinea, sau localizarea de la est spre vest, în jurul Pământului. În secolul al XVII-lea și la începutul secolului al XVIII-lea, viețile marinarilor erau în pericol pentru că aceștia nu puteau să știe exact unde se aflau. Guvernul britanic a oferit un premiu în bani de 20 000 de lire sterline, o sumă uriașă în acel timp, pentru cel care reușea să depășească problemele tehnice ale măsurării longitudinii.

Din cauza diferenței de fus orar, când călătorii de la est la vest pe Glob, longitudinea poate fi măsurată comparând ora locală de pe mare, la amiază, să spunem, cu ora dintr-un alt loc cunoscut, cum ar fi Observatorul Greenwich din Londra. Greenwich se află la longitudinea de zero grade deoarece timpul este măsurat luând ca referință observatorul de acolo; acum vorbim despre ora GMT, Greenwich Mean Time. Toate bune și frumoase, dar cum poți ști care este ora la Greenwich, când sunteți în mijlocul Atlanticului? Astăzi, dacă zburăți de la Londra la New York, puteți lua un ceas potrivit după ora Londrei. Dar, la începutul secolului al XVIII-lea, nu era ușor. Tehnica orologeriei în acea epocă nu era atât de avansată, iar cele mai precise ceasuri aveau pendule, care erau ținute pe corăbii care se balansau. John Harrison, un fabricant de ceasuri britanic, a inventat dispozitive

noi, care foloseau greutatea prinse de arcuri în locul pendulelor. Dar în teste făcute pe mare nici acestea nu au funcționat. O problemă a folosirii arcurilor pentru măsurarea timpului era faptul că elasticitatea acestora se modifică în funcție de temperatură. Pentru vasele care călătoreau de la tropice spre poli, această caracteristică făcea arcurile nepractice.

Harrison a găsit o nouă soluție. El a montat în ceas o fâșie bimetalică, făcută din două metale diferite, unite. Cele două metale, cum ar fi alamă și oțel, se alungesc cu mărimi diferite atunci când se încălzesc, făcând ca banda să se îndoaie. Montată în mecanismul ceasului, banda compensează schimbările de temperatură. Noul ceas al lui Harrison, denumit cronometru, a câștigat premiul în bani și a rezolvat problema longitudinii.

Toate cele patru ceasuri experimentale ale lui Harrison se află astăzi la Observatorul Greenwich din Londra. Primele trei sunt destul de mari, sunt făcute din alamă și au mecanisme de echilibrare a arcurilor foarte complicate. Sunt foarte frumoase făcute și este o plăcere să le privești. Cel de-al patrulea, proiectul câștigător, este mult mai compact și arată ca un ceas de buzunar mare. Este mai puțin satisfăcător din punct de vedere estetic, dar mai precis. Ceasuri similare au fost folosite mulți ani pe mare, până la inventarea ceasului electronic cu cuarț.

Hooke a realizat atât de multe, încât a fost numit Leonardo da Vinci din Londra. Un personaj-cheie în revoluția științifică, s-a remarcat în mai multe domenii, de la astronomie la biologie și chiar la arhitectură. După o controversă celebră cu Isaac Newton, între cei doi savanți s-a născut o adevărată rivalitate. Newton s-a supărat când Hooke a refuzat să accepte teoria lui a culorilor din spectrul luminii și nu a recunoscut niciodată că Hooke ar fi sugerat teoria atracției gravitaționale invers proporționale cu pătratul distanței.

Pare surprinzător că, în pofida acestor realizări, Hooke nu este mai cunoscut. Nu s-a păstrat nici un portret de-ale sale, iar legea lui Hooke în sine este o recunoaștere modestă pentru o personalitate atât de inovatoare.

”DACĂ AM VĂZUT MAI DEPARTE, ESTE PENTRU CĂ AM STAT PE UMERII UNOR URIAȘI.”

Isaac Newton, 1675, într-o scrisoare (posibil sarcastică) adresată lui Hooke

**Idee de bază
elastic e fantastic.**

08 Legea gazului ideal

Presiunea, volumul și temperatura unui gaz sunt legate între ele, iar Legea gazului ideal ne spune cum. Dacă încălzești un gaz, acesta vrea să se extindă; dacă îl comprimezi, ocupă mai puțin loc, dar are o presiune mai mare. Legea gazului ideal le este cunoscută pasagerilor avioanelor, care se înfioară când se gândesc la aerul extrem de rece din exteriorul aparatelor de zbor, sau alpinistilor, care se așteaptă la o scădere a temperaturii și a presiunii pe măsură ce urcă pe un munte. Charles Darwin poate că a dat vina pe Legea gazului ideal pentru că nu a putut să-și fiarbă cartofi când a campat la mare altitudine în Anzi.

Dacă ai folosit vreodată o oală sub presiune, atunci ai folosit Legea gazului ideal ca să vă pregătiți mâncarea. Cum funcționează oalele sub presiune? Acestea sunt vase închise ermetice, care împiedică scurgerile de aburi în timpul fierberii. Pentru că nu ies aburi, pe măsură ce lichidul fierbe se acumulează noi cantități de aburi și se mărește presiunea din interiorul vasului. Presiunea poate deveni suficient de mare încât să împiedice evaporarea lichidului care fierbe și să permită ca temperatura apei să crească peste punctul de fierbere a apei, 100 de grade Celsius. Astfel, mâncarea fierbe mai repede și nu îți pierde savoarea.

Legea gazului ideal are formula:
 $PV = nRT$, unde P este presiunea,
 V este volumul, T este tempera-
tura și n este numărul mole-
culor al unui gaz (1 mol corespunde
la 6×10^{23} , sau numărul lui Avogadro,
de atomi), iar R este un număr
denumit constanta gazului.

Legea gazului ideal, enunțată pentru prima dată de către fizi-
cianul francez Émile Clapeyron, în secolul al XIX-lea, ne spune
cum presiunea, temperatura și volumul unui gaz sunt inter-
corelate. Presiunea crește dacă volumul este micșorat sau dacă
temperatura este mărită. Imaginați-vă o cutie etanșă cu aer în ea.
Dacă micșorați volumul cutiei la jumătate, atunci presiunea se
va dubla. Dacă încălzești cutia, cu dimensiunile inițiale, până la o
temperatură de două ori mai mare, atunci presiunea se va dubla.

CRONOLOGIE

cca 350 î.Hr.	1650 d.Hr.	1662
Aristotel afirmă că „natura debestă vidul”.	Otto von Guericke construiește prima pompă cu vid.	Este enunțată Legea lui Boyle ($PV = \text{constant}$).

Pentru formularea legii gazului ideal, Clapeyron a combinat două legi anterioare, una a lui Robert Boyle și alta a lui Jacques Charles și Joseph Louis Gay-Lussac. Boyle a observat legătura dintre presiune și volum, iar Charles și Gay-Lussac, pe cea dintre volum și temperatură. Clapeyron a unificat cele trei mărimi gândindu-se la o cantitate de gaz numită „mol”, un termen care denumește un anumit număr de atomi sau de molecule, respectiv 6×10^{23} (adică 6 urmat de 23 de zerouri), cunoscut și ca numărul lui Avogadro. Deși pare că sunt foarte mulți atomi, acesta este, cu aproximație, numărul de atomi din cărbunele unui creion. Molul este definit ca numărul de atomi de carbon 12 din 12 grame de cărbune. În schimb, dacă ai avea numărul lui Avogadro de grapefruit, fructele ar ocupa tot volumul Pământului.

”EXISTĂ UN
SIMBOLISM PLIN
DE SPERANȚĂ ÎN FAPTUL
CĂ STEAGURILE NU
FLUTURĂ ÎN VÂNT.”

Arthur C. Clarke, 1917–2008

Gazul ideal Dar ce este gazul ideal? Simplu spus, un gaz ideal este un gaz care respectă legea gazului ideal. Acest lucru este consecința faptului că atomii sau moleculele care îl alcătuiesc sunt foarte mici comparativ cu distanțele dintre ei, respectiv ele, astfel încât, atunci când particulele se mișcă, ele trec cu ușurință unele pe lângă altele. De asemenea, nu există forțe suplimentare care se exercită între particule și care să le facă să stea laolaltă, cum ar fi sarcinile electrice.

Gazele „nobile”, cum ar fi neonul, argonul și xenonul, se comportă ca gaze ideale alcătuite din atomi individuali (mai degrabă decât din molecule). Moleculele ușoare simetrice, cum ar fi cele de hidrogen, azot sau oxigen, se comportă aproape la fel ca gazele ideale, în timp ce moleculele mai grele, cum ar fi butanul, se comportă mai puțin asemănător.

Gazele au densități foarte mici, iar atomii sau moleculele care le alcătuiesc nu sunt ținute laolaltă, ci sunt libere să se miște. În cazul gazelor ideale, atomii se comportă ca mii de bile de cauciuc aruncate pe un teren de squash, ciocnindu-se unii de alții și de pereții vasului în care se află. Gazele nu au limite, dar pot fi ținute într-un vas care delimitează un anumit volum. Prin reducerea mărimii

1672

Este inventată
Dala lui Papin.

1802

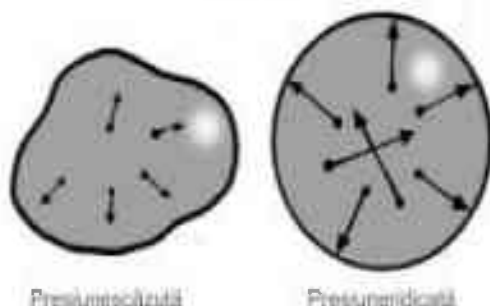
Este enunțată Legea lui
Charles și a lui Gay-Lussac
($V/T = \text{constant}$).

1834

Clapeyron enunță legea
gazului ideal.

acelui vas, moleculele sunt împinse mai aproape unele de altele și, conform legii gazului, cresc și presiunea, și temperatura.

Presiunea unui gaz ideal este generată de forțele atomilor și ale moleculelor care lovesc pereții vasului și unele de altele, în timpul mișcării lor prin vas. Conform celei de-a treia legi a lui Newton (vezi p. 10), particulele care se lovesc de pereți exercită o forță opusă asupra acestora. Coliziunile cu pereții sunt elastice, prin urmare, particulele sar înapoi fără să piardă energie sau să se lipească, dar transferă energie cinetică vasului, resimțită ca presiune. Energia cinetică ar face vasul să se miște, dar acesta este atât de rigid încât opune rezistență oricărei mișcări, iar forțele sunt resimțite în multe direcții, asupra vasului exercitându-se o medie a acestor forțe.



Creșterea temperaturii crește vitezele particulelor, astfel încât forțele exercitate asupra pereților vasului devin și mai mari. Căldura este transferată moleculelor, mărind energia lor cinetică și făcându-le să se miște mai rapid. Când se ciocnesc cu pereții, transferă și mai multă energie cinetică, mărind din nou presiunea.

Micșorarea volumului mărește densitatea gazului, astfel încât se produc mai multe coliziuni cu pereții, iar presiunea crește din nou. Temperatura crește și ea, deoarece, energia conservându-se, moleculele accelerează când sunt într-un spațiu restrâns.

Unele gaze reale nu urmează întotdeauna această lege. În cazul gazelor cu molecule mari sau complexe, pot exista forțe suplimentare între acestea, ceea ce înseamnă că au tendința să fie mai legate decât particulele gazului ideal. Astfel de forțe de adeziune pot apărea datorită sarcinilor electrice ale atomilor care compun moleculele și sunt mai accentuate dacă gazul este extrem de comprimat sau la o temperatură foarte scăzută, condiții în care moleculele se mișcă mai lent. Moleculele cu adevărat aderente, cum ar fi proteinele sau grăsimile, nu devin niciodată gaze.

Presiune și altitudine Când urcați pe un munte de pe Pământ, presiunea atmosferică scade, comparativ cu presiunea de la nivelul mării, doar pentru că deasupra voastră este mai puțină atmosferă. Ați observat, poate, că această scădere a presiunii coincide cu

o scădere a temperaturii. În timpul zborului cu un avion, temperatura din exterior scade mult sub cea a înghețului. Aceasta este o demonstrație a Legii gazului ideal.

La altitudine mare, pentru că presiunea atmosferică este scăzută, apa fierbe la o temperatură mult mai mică decât la nivelul mării. Deoarece mâncarea nu fierbe bine, alpinștii folosesc uneori oale sub presiune. Înșuși Charles Darwin s-a plâns că nu a avut una, în timpul expediției sale în Anzi, în 1835, deși știa despre „oala cu aburi” inventată de fizicianul francez Denis Papin, la sfârșitul secolului al XVII-lea.

După cum spunea Darwin în *Călătoria vasului Beagle*:

În locul în care am dormit, apa a fiert, din cauza presiunii scăzute a atmosferei, la o temperatură mai mică decât într-o zonă mai puțin muntoasă; așa stând lucrurile, ar fi fost nevoie de o oală a lui Papin. Cartofii, după ce au stat câteva ore în apa care fierbea, erau aproape la fel de tari ca la început. Oala a fost lăsată pe foc toată noaptea, iar a doua zi dimineața a fost pusă din nou la fiert, dar cartofii tot nu s-au înmuiat. Am aflat, auzindu-i pe doi dintre însoțitorii mei discutând despre cauza acestui fenomen, că ei ajunseseră la concluzia simplă că „afurisita asta de oală (care era nouă) nu a vrut să fiarbă cartofii”.

Vidul Dacă ai putea zbura deasupra munților, până la limita atmosferei, poate în spațiu, presiunea ar scădea până aproape de zero. Un vid perfect nu ar conține nici un atom, dar niciateri în univers nu există așa ceva. Chiar și în spațiul cosmic sunt împrăștiți atomi, doar câțiva atomi de hidrogen într-un centimetru cub. Filosofii greci Platon și Aristotel nu credeau că poate exista vid pur, deoarece „rămiciul” nu poate să existe.

Astăzi conceptele mecanicii cuantice au contrazis ideea vidului ca spațiu gol, sugerând că acesta este plin de particule subatomice virtuale care apar și dispar. Cosmologia sugerează chiar că spațiul poate avea o presiune negativă, care se manifestă ca energie întunecată, accelerând expansiunea universului. Se pare că, într-adevăr, natura detestă vidul.

Idee de bază fizica oalei sub presiune

09 Legea doua a termodinamicii

Cea de-a doua lege a termodinamicii este unul dintre fundamentele fizicii moderne. Ea spune clar: căldura se transmite de la corpurile calde la cele reci, și nu invers. Deoarece căldura este o măsură a dezordinii sau a entropiei, o altă modalitate de a exprima acest concept este că entropia crește totdeauna într-un sistem izolat. Legea a doua a termodinamicii este legată de trecerea timpului, desfășurarea evenimentelor și soarta finală a universului.

Când turnați cafea fierbinte într-un pahar cu gheață, gheața se încălzește și se topește, iar cafeaua se răcește. V-ați întrebat vreodată de ce temperaturile nu devin și mai extreme? Cafeaua ar putea extrage căldură din gheață, devenind și mai fierbinte, iar gheața ar deveni și mai rece. Experiența ne spune că nu se întâmplă așa, dar care este cauza?

Tendința corpurilor calde și reci de a schimba căldură și de a se îndrepta spre o temperatură egală este redată în Legea a doua a termodinamicii. Aceasta spune că, în general, căldura nu se poate transmite de la un obiect rece la unul cald.

Prin urmare, cum funcționează frigiderele? Cum putem răci un pahar de suc de portocale dacă nu putem să îi transferăm căldura spre altceva? Legea a doua a termodinamicii ne permite să facem acest lucru doar în condiții deosebite. Ca produs secundar al răcirii unor lucruri, frigiderele generează și multă căldură, după cum puteți observa dacă puneți mâna pe spatele unui. Deoarece degajă căldură, frigiderele nu încalcă Legea a doua a termodinamicii, dacă luăm în considerare energia totală a frigiderului și a mediului din jurul său.

CRONOLOGIE

1150 d.Hr.

Bhaskara prezintă ideea unei roți perpetuum mobile.

1824

Sadi Carnot pune bazele termodinamicii.

1850

Rudolf Clausius definește entropia și enunță Legea a doua a termodinamicii.

Entropia Căldura este, de fapt, o măsură a dezordinii, iar, în fizică, dezordinea este deseori definită ca „entropie”, care măsoară modurile în care un număr de obiecte se pot aranja de la sine. Un pachet de spaghetti nefierți, un pachet de paste aliniat și strânse, are entropie redusă, întrucât este bine ordonat. Când pastele sunt puse într-o oală cu apă clocotită și firele se încurcă între ele, nu mai sunt ordonate și au entropie mai mare. La fel, firurile aliniat de soldați de jucărie au entropie redusă, dar distribuția lor are entropie mai mare dacă jucăriile sunt împrăștiate pe podea.

Ce are acest lucru de-a face cu frigiderul? Un alt mod de a enunța Legea a doua a termodinamicii este acela că, în cazul unui sistem mărginit, entropia crește; nu scade niciodată. Temperatura este în mod direct legată de entropie, iar corpurile reci au entropie scăzută. Atomii lor sunt mai puțin dezordonați decât cei ai corpurilor fierbinți, care se mișcă mai mult. Prin urmare, orice schimbări în entropia unui sistem, luând în considerare toate părțile acestuia, trebuie să producă un efect net, care este o creștere.

În cazul frigiderului, răcirea sucului de portocale îi scade entropia, dar această scădere este compensată de aerul fierbinte pe care aparatul îl produce. De fapt, creșterea entropiei provocată de aerul fierbinte depășește orice scădere provocată de răcire. Dacă analizați întregul sistem, frigider și mediul înconjurător, atunci Legea a doua a termodinamicii rămâne valabilă. O altă modalitate de a enunța legea este că entropia crește totdeauna.

” LA FEL CUM
CREȘTEREA CONSTANTĂ
A ENTROPIEI ESTE
LEGEA FUNDAMENTALĂ
A UNIVERSULUI, LEGEA
FUNDAMENTALĂ A
VIEȚII ESTE SĂ FIE ȘI
MAI STRUCTURATĂ ȘI
SĂ LUPTE ÎMPOTRIVA
ENTROPIEI. “

Václav Havel, 1977

Cea de-a doua lege a termodinamicii se aplică în cazul unui sistem izolat, ermetic, în care și din care nu există influx, respectiv scurgere de energie. Energia este conservată în interiorul sistemului. Universul în sine este un sistem izolat, prin aceea că nimic nu există în afara lui, prin definiție. Prin urmare, în universul ca întreg energia este conservată, iar entropia trebuie totdeauna să crească. În zone mici se poate înregistra o ușoară scădere a entropiei, de exemplu prin răcire, dar aceasta trebuie să fie compensată, ca în cazul frigiderului, prin încălzirea altor

1860

Maxwell postulează
existența demonului său.

2007

Leigh pretinde că a
construit o mașină
demonică.

Universul (ne)elegant?

Astronomii au încercat, recent, să calculeze culoarea medie a universului, adunând luminile tuturor stelelor, și au aflat că acesta nu este galben soare, sau roșu, sau albastru-deschis, ci mai degrabă un depărmant, bej. Peste miliarde de ani, când entropia va învinge, până la urmă, gravitația, universul va deveni o mare uniformă de bej.

regluni și crearea de mai multă entropie, astfel încât valoarea entropiei să crească pe ansamblu.

Cum arată, cum se manifestă o creștere a entropiei? Dacă turnați sirop de ciocolată într-un pahar cu lapte, entropia este mică la început; laptele și siropul sunt în porțiuni distincte, alb și maro. Dacă măriți dezordinea, amestecând, atunci

moleculele se amestecă. Punctul final de maximă dezordine este atunci când siropul este complet amestecat în lapte, iar băutura devine bej-deschis.

Dacă ne gândim din nou la întreg universul, cea de-a doua lege a termodinamicii implică și faptul că atomii devin din ce în ce mai dezordonați, în timp. Orice aglomerări de materie se vor dispersa treptat, până când în univers vor mai fi doar atomi. Așadar, soarta finală a universului, care a început prin a fi o tapiserie multicoloră de stele și galaxii, este să ajungă o mare gri de atomi amestecați. Când universul se va fi extins atât de mult încât galaxiile vor fi distruse, iar materia sa va fi diluată, tot ceea ce va rămâne va fi o supă de particule. Această stare finală, presupunând că universul va continua să se extindă, este cunoscută ca „moarte termică”.

Perpetuum mobile Intrucât căldura este o formă de energie, aceasta poate fi pusă la lucru. Un motor cu aburi transformă căldura în mișcarea mecanică a unui piston sau a unei turbine, care poate produce electricitate. O mare parte a științei termodinamicii s-a dezvoltat în secolul al XIX-lea din ingineria practică a motoarelor cu aburi, în loc să fie dedusă mai întâi de fizicieni, teoretici. O altă implicație a Legii a doua a termodinamicii este faptul că motoarele cu aburi și alte motoare care rămân fără energie termică nu sunt perfecte. În orice proces în care căldura se transformă în altă formă de energie se pierde puțină energie, astfel încât entropia sistemului în ansamblu crește.

Ideea unui perpetuum mobile, un motor care nu pierde niciodată energie și, deci, poate funcționa continuu, i-a urmărit pe savanți încă din Evul Mediu. Legea a doua a termodinamicii le-a spulberat speranțele, dar, înainte ca aceasta să fie cunoscută, mulți au realizat proiecte ale unor posibile mecanisme. Robert Boyle a imaginat o cană care se golea și se umplea singură, iar matematicianul indian Bhaskara

LEGEA DOUA A TERMODINAMICII

a imaginat o roată care își întreține rotația lansând greutatea de-a lungul spițelor. În realitate, la o privire mai atentă, ambele mecanisme pierd energie. Ideile ca acestea erau atât de răspândite încât, chiar și în secolul al XVIII-lea, mecanismele perpetuum mobile căpătaseră un renume prost. Atât Academia Regală de Științe din Franța, cât și Biroul American pentru Patente le-au interzis ca subiect de discuție. Astăzi acestea rămân de domeniul inventatorilor excentrici cu laboratoare în magazia din curte.

Demonul lui Maxwell Una dintre cele mai controversate încercări de a învinge Legea a doua a termodinamicii a fost propusă ca un experiment mental de către fizicianul scoțian Clerk Maxwell, în anul 1860. Imaginați-vă două cutii cu gaz, una lângă alta, ambele la aceeași temperatură. Între cele două cutii se face o gaură mică, astfel încât particulele de gaz să poată să treacă dintr-o cutie în alta. Dacă una ar fi mai caldă decât cealaltă, particulele ar trece în cealaltă și ar egala treptat temperatura. Maxwell și-a imaginat că ar exista un demon microscopic care ar lua doar moleculele rapide dintr-o cutie și le-ar împinge în cealaltă. Astfel, viteza medie a moleculelor din acea cutie ar crește, în detrimentul celei din cealaltă cutie. Prin urmare, a postulat Maxwell, căldura ar putea fi mutată din cutia mai rece în cea mai caldă. Nu ar încălca acest proces Legea a doua a termodinamicii? Ar putea fi căldura transferată în cutia mai caldă prin selectarea moleculelor potrivite?

Explicația de ce demonul lui Maxwell nu ar putea funcționa îi intrigă pe fizicieni de atunci până astăzi. Mulți au argumentat că procesul măsurării vitezelor particulelor și al deschiderii și închiderii unei trape ar necesita energie, deci entropia totală a sistemului nu ar scădea. Cel mai mult s-a apropiat de o „mașină demonică” fizicianul David Leigh din Edinburgh, care a lucrat la scară nanometrică. Creația lui separă, într-adevăr, particulele rapide și pe cele lente, dar are nevoie de o sursă externă de energie pentru a face acest lucru. Deoarece nu există nici un mecanism care să poată mișca particule fără să folosească o energie suplimentară, fizicienii nu au găsit până astăzi o modalitate de a încălca Legea a doua.

O altă versiune a legilor
termodinamicii

LEGEA ÎNTÂI

Nu poți să câștigi!

(vezi Conservarea
energiei, p. 20)

LEGEA A DOUA

Pei doar să pierzi!

(vezi p. 38)

LEGEA TREIA

Nu poți să ieși din joc

(vezi Zero absolut,
p. 40)

Idee de bază legea dezordinii

10 Zero absolut

Zero absolut este punctul imaginar în care o substanță este atât de rece încât atomii săi încetează să se miște. Zero absolut nu a fost atins niciodată, nici în natură, nici în laborator. Dar savanții s-au apropiat foarte mult. Poate că este imposibil să se ajungă la zero absolut și, chiar dacă ajungem, este posibil să nu știm, pentru că nici un termometru nu l-ar putea indica.

Când măsurăm temperatura unui corp, măsurăm energia medie a particulelor care îl alcătuiesc. Temperatura arată cât de repede vibrează sau se mișcă particulele. Într-un gaz sau într-un lichid, moleculele sunt libere să circule în orice direcție și se ciocnesc des unele de altele. Așadar, temperatura este legată de viteza medie a particulelor. Într-un solid, atomii sunt prinși într-o structură de tip grilă, ca plesile jocurilor Meccano, ținute împreună de legături electronice. Când corpul se încălzește, atomii au multă energie și vibrează mult, ca o gelatină, rămânând în poziția lor.

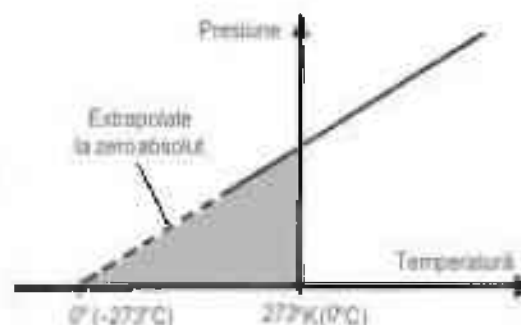
Când răcești un material, atomii săi se mișcă mai puțin. Într-un gaz, vitezele lor scad; într-un solid, vibrațiile lor se reduc. Pe măsură ce temperatura scade din ce în ce mai mult, atomii se mișcă din ce în ce mai puțin. Dacă este răcită suficient de mult, o substanță poate deveni atât de rece, încât atomii ei se opresc complet. Acest punct final ipotetic este denumit zero absolut.

Scara Kelvin Noțiunea de zero absolut a apărut în secolul al XVIII-lea, prin extrapolarea unui grafic al temperaturii și energiei către zero. Energia crește proporțional cu temperatura, iar linia care unește cele două mărimi poate fi proiectată înapoi, pentru a se găsi temperatura la care energia atinge valoarea zero: $-273,15$ grade Celsius sau $-459,67$ grade Fahrenheit.

CRONOLOGIE

1702 d.Hr.	1777	1802
Guillaume Amontons propune noțiunea de zero absolut.	Lambert propune o scară absolută de temperatură.	Gay-Lussac identifică punctul zero absolut la -273 grade Celsius.

În secolul al XIX-lea, lordul Kelvin a propus o nouă scară de temperatură care începe la zero absolut. Kelvin a luat practic scara de temperatură Celsius și a convertit-o la scara sa. Prin urmare, în loc ca temperatura de îngheț a apei să fie 0 grade Celsius, este 273 grade Kelvin, iar temperatura de fierbere este 373 grade Kelvin (echivalentul a 100 de grade Celsius). Domeniile superioare ale acestei scări sunt marcate de repere, cum ar fi punctul triplu al apei, temperatura la care (la o anumită presiune) pot coexista apa în stare lichidă, vapori și gheață, fenomen care se produce la 273,16 grade Kelvin sau 0,01 grade Celsius, la presiuni scăzute (mai puțin de 1% din presiunea atmosferică). Astăzi, cei mai mulți savanți folosesc scara Kelvin pentru măsurarea temperaturii.



Harele Îngheț Cât de frig ar fi la zero absolut? Știm cum este când temperatura de afară atinge punctul de îngheț sau când începe să ningă. Respirația îngheață, iar degetele încep să amortească. Este destul de frig. În unele zone din America de Nord și din Siberia se poate ajunge la temperaturi de -10 sau -20 de grade Celsius iarna, iar la Polul Sud temperatura poate ajunge la -70 de grade Celsius. Cea mai scăzută temperatură înregistrată pe Pământ este -89 de grade Celsius, sau 184 de grade Kelvin, măsurată la Vostok, în inima Antarcticii, în 1983.

Temperatura scade și atunci când urci un munte sau zbori în atmosferă, într-un avion. Dacă zbori în spațiu, este și mai frig. Dar chiar și în cele mai îndepărtate și mai pustii locuri din univers, atomii cei mai reci au temperaturi cu câteva grade peste zero absolut. Cel mai rece loc descoperit până acum în univers este un nor

” CUM ÎMI PLACE SĂ ÎMI PĂSTREZ ACADELELE LA ZERO ABSOLUT, FOLDESC SCARA KELVIN MAI MULT DECÂT MAJORITATEA AMERICANILOR. MI SE PARE CĂ DESERTURILE NU SUNT DELICIOASE DECÂT DACĂ ÎN ELE NU ARE LOC NICI O MIȘCARE MOLECULARĂ. “

Chuck Klosterman, 2004

1848

Este definită scara de temperatură Kelvin.

1900

Kelvin susține conferința despre „cel doi nori”.

1930

Măsurătorile experimentale indică mai exact punctul zero absolut.

1954

Zero absolut este definit oficial la -273,15 grade Celsius.

întunecat de gaz, care se află în Nebuloasa Bumerang, unde temperatura este de doar un grad peste zero absolut.

În afara acestei nebuloase, în spațiul pustiu, temperatura este de aproximativ 2,7 grade Kelvin. Această temperatură de baie caldă este datorată microundelor radițiilor cosmice, căldură rămasă de la Big Bang, care s-a împrăștiat în întreg spațiul (vezi p. 182). Pentru a se răci mai mult, regiunile trebuie să fie izolate de această căldură și toți atomii trebuie să își piardă căldura residuală. Prin urmare, este, practic, de neconceput ca vreun loc în spațiu să atingă temperatura zero absolut.

Frig înăuntru Temperaturi și mai scăzute au fost atinse, temporar, în laborator, unde fizicienii au încercat să se apropie de zero absolut pentru intervale scurte de timp. Ei s-au apropiat foarte mult, mai mult decât în spațiul exterior.

În laboratoare sunt folosite multe gaze lichide de răcire, dar acestea sunt mai calde decât zero absolut. Azotul poate fi răcit până când devine lichid, la 77 grade Kelvin (-196 grade Celsius). Azotul lichid este ușor de transportat în cilindri metalici și este folosit în spitale pentru păstrarea probelor biologice, inclusiv pentru păstrarea

” ÎN TIMPUL PRIMEI JUMĂTĂȚI A CARIEREI LUI THOMSON, ACESTA PĂREA SĂ NU POATĂ SĂ GREȘESCĂ, ÎN TIMP CE ÎN A DOUA JUMĂTATE A CARIEREI SALE PĂREA SĂ NU POATĂ SĂ AIBĂ DREPTATE. “

C. Watson, 1969
(biograful lordului Kelvin)

embrionilor și a spermei congelate în clinice de fertilitate. Este folosit, de asemenea, și în electronica avansată. Când este răcită prin scufundarea în azot lichid, o garoafă devine atât de casantă încât se sparge ca porțelanul dacă este scăpată pe jos.

Helium lichid este chiar mai rece, are doar 4 grade Kelvin, dar tot are peste zero absolut. Amestecând două tipuri de heliu, heliu 3 și heliu 4, este posibil să se răcească amestecul până la câteva milimi de grad Kelvin.

Pentru a atinge temperaturi și mai scăzute, fizicienii au nevoie de o tehnologie și mai avansată. În 1994, la American National Institute for Standards and Technology (NIST) din Boulder,

Colorado, cercetătorii au reușit să răcească atomi de cesiu, folosind lasere, până la 700 de miliarde dintr-un grad Kelvin. Nouă ani mai târziu, cercetătorii de la Massachusetts Institute of Technology au ajuns și mai aproape de zero absolut, atingând temperatura de 0,5 miliarde dintr-un grad Kelvin.

Lordul Kelvin 1824–1907

Facienda britanică lord Kelvin, născut William Thomson, a abordat multe teme din domeniul electricității și al căldurii, deși este celebru mai ales pentru că a contribuit la construirea primului cablu submarin transatlantic pentru transmisiuni telegrafice. Thomson a publicat peste 600 de lucrări și a fost, de asemenea, președinte al prestigioasei Societăți Regale din Londra. A fost un fizician conservator și a refuzat să accepte existența atomilor, s-a opus teoriei evoluționiste a lui Darwin și teoriilor înrudite privind vârsta Pământului și a Soarelui, plasându-le astfel în treburile învinșilor în numeroase controverse. Thomson a primit titlul de Baron Kelvin din Largs, după râul Kelvin

care trece prin campusul Universității din Glasgow și după orașul său natal, Largs, cu pe coasta Scoției. În 1900, Kelvin a susținut o conferință celebră la Institutul Regal al Marii Britanii, în care a depășit faptul că „frumusețea și claritatea teoriei” nu fost umbrite de „doi nani”, și anume teoria radiației corpului negru și încercarea asumată de a descoperi „eterul” sau mediul gazos prin care se presupunea că lumina călătorește. Câte două probleme pe care lumină și sunetul aveau să fie soluționate mai târziu, de teoria relativității și de mecanica cuantică, dar Thomson s-a străduit să le rezolve cu fizica newtoniană a epocii sale.

Într-adevăr, zero absolut este o idee abstractă. Nu a fost atinsă niciodată în laborator, nici nu a fost măsurată vreodată în natură. Pe măsură ce încearcă să se apropie mai mult, cercetătorii trebuie să accepte ideea că este posibil ca punctul zero absolut să nu poată fi atins, de fapt, cu certitudine.

De ce ar fi astfel? În primul rând, pentru că orice termometru care nu ar avea chiar el temperatura zero absolut ar adăuga căldură și ar împiedica atingerea acestui punct. În al doilea rând, este dificil să se măsoare temperatura la niveluri atât de joase de energie, la care intervin alte efecte, cum ar fi superconductivitatea și legile mecanicii cuantice, afectând mușcămile și stările atomilor. Așadar, nu am putea ști niciodată cu certitudine că am ajuns în acel punct. În cazul lui zero absolut, am putea spune, ca Gertrude Stein, că: „acolo nu există”.

Idee de bază marele îngheț

11 Mișcare browniană

Mișcarea browniană descrie mișcările bruște ale particulelor mici când sunt lovite de molecule invizibile de apă sau de gaz. Botanistul Robert Brown a observat-o pentru prima dată, în timp ce privea particule de polen pe lamelele umede ale microscopului, dar Albert Einstein a fost cel care a descris-o matematic. Mișcarea browniană explică modul în care se difuzează poluarea în aer sau în apa liniștită și descrie multe procese întâmplătoare, de la inundații la evoluția bursii. Etapele sale imprevizibile sunt legate de fractali.

Botanistul din secolul al XIX-lea Robert Brown privea la microscop granule de polen, când a observat că acestea nu stau pe loc, ci țâșnesc de jur împrejur. Pentru o clipă, s-a întrebat dacă nu cumva sunt vii. Evident, nu erau vii, dar erau împinse de colo-colo de mișcările moleculelor de apă pe care Brown o folosisese ca să umezească lamelele de sticlă. Particulele se mișcau haotic, uneori puțin, iar alteori destul de mult, și alunecau pe lamelă, pe traiectorii care nu puteau fi prezise. Și alți cercetători au studiat fenomenul lui Brown, care a fost numit, după el, mișcare browniană.

Plimbiare la întâmplare Mișcarea browniană se produce pentru că o mică particulă de polen primește o lovitură ușoară ori de câte ori o moleculă de apă se ciocnește de ea. Moleculele invizibile de apă se mișcă și se ciocnesc unele de altele tot timpul și, prin urmare, se ciocnesc regulat de polen, împingându-l de colo-colo. Chiar dacă o granulă de polen este de sute de ori mai mare decât o moleculă de apă, deoarece polenul este lovit în fiecare clipă de multe molecule, care se mișcă fiecare în direcții aleatorii, există, de obicei, un dezechilibru de forțe care îl face să se miște puțin. Acest lucru se întâmplă întruna, iar granula de polen lovită umează

CRONOLOGIE

cca 420 î.Hr.

Democrit postulează existența atomilor.

1827 d.Hr.

Brown observă mișcarea polenului și propune o explicație.

o traiectorie incălțită, asemănătoare celei a unui bețiv care se distină pe picioare. Traectoria polenului nu poate fi prezisă, deoarece moleculele de apă se ciocnesc aleatoriu de granule, astfel încât acestea pot sări în orice direcție.

Mișcarea browniană afectează orice particule mici aflate în suspensie într-un lichid sau într-un gaz. Acest fenomen se poate observa chiar și în cazul unor particule destul de mari, cum ar fi particulele de fum care dansează prin aer, văzute printr-o lupă. Mărimea impulsurilor pe care le primesc particulele depinde de momentul cinetic al moleculelor. Așadar, o mișcare mai amplă se poate observa atunci când moleculele de lichid ori de gaz sunt grele sau atunci când acestea se mișcă repede, de exemplu, dacă fluidul este fierbinte.

Formulele matematice din spatele mișcării browniene au fost studiate încă de la sfârșitul secolului al XIX-lea, dar Einstein a fost cel care le-a adus în atenția fizicienilor într-o lucrare din 1905, același an în care a publicat Teoria relativității și o explicație a efectului fotoelectric care i-au adus Premiul Nobel. Einstein a preluat teoria căldurii, bazată tot pe coliziuni moleculare, pentru a explica cu succes mișcarea pe care o observase Brown. Văzând că mișcarea browniană aducea o dovadă a existenței moleculelor în fluide, fizicienii au fost siliți să accepte teoria atomilor, care era încă pusă la îndoială chiar și la începutul secolului XX.



„Pimbarea la întâmplare” a mișcării browniene

Difuzia în timp, mișcarea browniană poate face particulele să se miște pe o distanță destul de mare, dar niciodată mai departe decât dacă traiectoriile lor ar fi fără obstacole, iar ele s-ar mișca în linie dreaptă.

Întâmplarea poate face, în egală măsură, ca o particulă să se întoarcă sau să meargă înainte. Prin urmare, dacă un grup de particule ar fi aruncat în același loc într-un lichid, particulele s-ar împrăști spre exterior, chiar dacă nimeni nu ar amesteca sau dacă nu ar fi curenți în lichid. Fiecare particulă ar porni pe drumul său, făcând picătura concentrată să se împrăștie într-un nor difuz. O astfel de

1905

Einstein determină formulele matematice din spatele mișcării browniene.

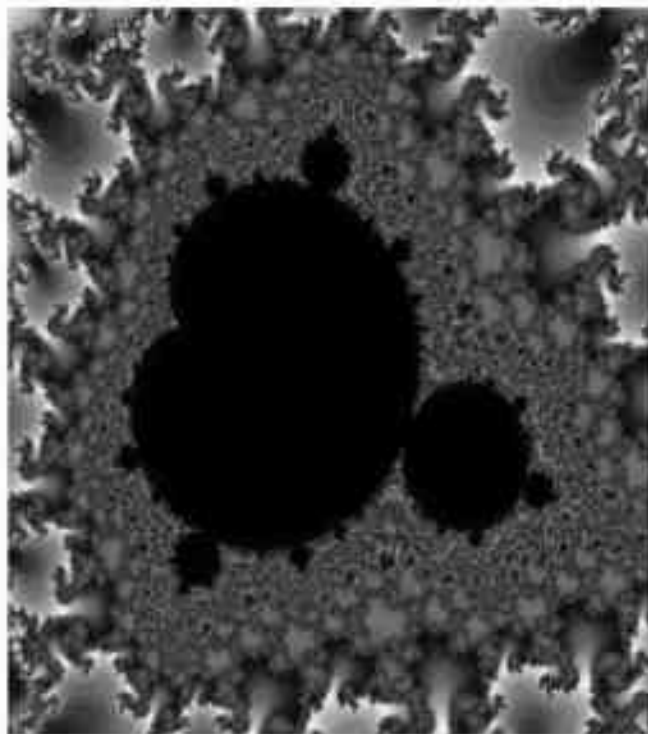
anii 1960

Mandelbrot descoperă fractalii.

difuzie este importantă pentru aflarea modului de împrăștiere a poluării dintr-o sursă, cum ar fi împrăștierea aerosolilor din atmosferă. Chiar dacă nu este vânt, toate substanțele chimice se vor difuza datorită mișcării browniene.

Fractali Traectoria urmată de o particulă în mișcare browniană este un exemplu de fractal. Fiecare pas pe traectorie poate fi de orice mărime și în orice direcție, dar, în ansamblu, există un model care poate fi observat. Acest model are o structură de modulații de toate gamele de mărime, de la cele mai mici imaginabile până la unele destul de mari. Aceasta este caracteristica definitorie a unui fractal.

Fractalii au fost definiți de către Benoit Mandelbrot în anul 1960 și 1970, ca o modalitate de a cuantifica forme autosimilare. Prescurtare de la dimensiuni fracționare, fractalii sunt tipare care arată în esență la fel la orice scară. Dacă măști o mică parte a tiparului, acesta arată la fel ca tiparul la o scară mai mare, astfel încât nu vă puteți da seama care este partea mărită. Aceste tipare repetitive la orice scară apar frecvent în natură, de exemplu, în încrețturile coastelor marine, în crengile unui copac, în frunzele de ferigă sau în simetria hexagonală a unui fulg de zăpadă.



Dimensiunile fracționare apar deoarece lungimea sau dimensiunea depind de scala la care priviți. Dacă măsurați distanța dintre două orașe de pe coastă, ați putea spune că sunt 30 km, dar dacă luați în considerare fiecare piatră și măsurați prin jurul fiecăreia cu o bucată de sfoară, s-ar putea să aveți nevoie de o bucată de sfoară de 100 km ca să faceți acest lucru. Dacă mergeți mai departe și măsurați prin jurul fiecărui grăunte de nisip de pe coastă, ați putea avea nevoie de o sfoară de sute de kilometri. Așadar, lungimea absolută în acest caz depinde de scala la care măsurați. Dacă blurați totul până

la un nivel mare, atunci reveniți la cunoscuți 30 km. În acest sens, dimensiunile fracționare măsoară rugozitatea unui lucru, fie un nor, un copac sau un lanț muntos. Multe dintre aceste forme fractale, cum ar fi linia unei coaste marine, pot fi produse de o serie de pași de mișcări aleatorii, de aici legătura lor cu mișcarea browniană.

Formulele matematice ale mișcării browniene sau ale unei secvențe de mișcări aleatorii pot fi folosite pentru a genera tipare fractale care sunt utile în multe domenii ale științei. Ele pot crea peisaje virtuale cu munți, copaci și nori pentru jocuri pe computer sau pot fi folosite în programe de cartografiere spațială care să ajute roboții să se deplaseze pe teren accidentat, modelând crestele și crevasele acestuia. Medicii le găsesc utile în imagistica medicală, când trebuie să analizeze structura unor părți complexe ale corpului, cum ar fi plămânii, în care structuri ramificate se regăsesc de la scară mare la scară mică.

Ideile legate de mișcarea browniană sunt utile și pentru prezicerea riscurilor și a evenimentelor din viitor care sunt rezultante ale multor evenimente aleatorii, cum ar fi inundațiile și fluctuațiile burselor. Bursa poate fi analizată ca un portofoliu de acțiuni ale căror prețuri variază aleatoriu, ca mișcarea browniană a unui grup de molecule. Mișcarea browniană apare și în modelarea teoretică a altor procese sociale, cum ar fi cele de producție și de luare a deciziilor. Mișcările aleatorii ale mișcării browniene au o mare influență și apar sub diverse forme, nu doar în dansul frunzelor dintr-o ceașcă de ceai.

Idee de bază
un dans microscopic
invizibil

12 Teoria haosului

Teoria haosului afirmă că modificările mici ale condițiilor pot avea urmări mai târziu. Dacă plecați de acasă cu 30 de secunde mai târziu, chiar dacă ați pierdut autobuzul, este posibil să întâlniți pe cineva care să vă spună despre un nou loc de muncă, schimbându-vă viața pentru totdeauna. Cea mai cunoscută aplicare a teoriei haosului este în meteorologie, unde o adiere slabă de vânt poate declanșa un uragan în cealaltă parte a planetei, așa-numitul „efect fluture”. Totuși, haosul nu este haotic în sensul propriu al cuvântului, deoarece în el se observă tipare.

Bătăia aripilor unui fluture din Brazilia poate provoca o tornadă în Texas. Așa spune Teoria haosului. Teoria haosului admite faptul că unele sisteme pot avea comportamente foarte diferite, deși toate au puncte de pornire foarte asemănătoare. Clima este un astfel de sistem. O foarte mică variație de temperatură sau de presiune într-un loc poate declanșa un șir de evenimente care să ducă la o ploaie torențială în altă parte.

Haos este, într-o măsură, o denumire greșită. Nu este haotic în sensul de nestăpânit, imprevizibil sau lipsit de structură. Sistemele haotice sunt deterministe, prin urmare, dacă știți cu exactitate punctul de plecare, sunt previzibile și reproductibile. Fizica elementară descrie serii de evenimente care se desfășoară în același mod. Dar, dacă luați în considerare un rezultat final, este imposibil să vă întoarceți și să spuneți de unde a provenit acel rezultat, întrucât mai multe căi pot să ducă la el. Se întâmplă astfel deoarece diferențele dintre condițiile care au atras un rezultat sau altul pot fi minuscule, chiar imposibil de măsurat. Așadar, rezultate divergente apar din modificări mici ale condițiilor inițiale. Din cauza acestor divergențe, dacă nu sunteți siguri în legătură cu valoarea unei mărimi

CRONOLOGIE

1898 d.Hr.

Se observă comportamentul haotic al bilelor de biliard ale lui Hadamard.

1961

Lorenz lucrează la prognoze meteorologice.

inițiale, atunci gama de comportamente rezultate în consecință poate fi vastă. În cazul climei, dacă temperatura adierii de vânt este diferită cu doar o fracțiune de cea pe care o presupuneți, atunci prognozele pot fi complet greșite și se poate produce nu o furtună violentă, ci mai degrabă o ploie ușoară sau o tornadă cumplită în orașul vecin. Meteorologii au, deci, limite în perioada pentru care pot construi modele teoretice ale vremii. Chiar cu imense cantități de date cu privire la starea atmosferei, de la rețurile de sateliți care se învârt în jurul Pământului și al stațiilor meteorologice de pe acesta, meteorologii pot face prognoze pentru doar câteva zile. După acest interval de timp, incertitudinile devin prea mari din cauza haosului.

Evoluție Teoria haosului a fost elaborată în anul 1960, de către matematicianul și meteorologul american Edward Lorenz. Folosind un computer pentru realizarea modelelor matematice ale climei, Lorenz a constatat că programul său genera prognoze extrem de diferite doar pentru că datele introduse erau rotunjite diferit. Lorenz a împărțit programele de simulare în mai multe etape și a încercat să reia calculele de la mijlocul simulării, tipărintd datele și apoi introducându-le din nou. Datele erau rotunjite după trei zecimale, pe care el le testa, dar memoria computerului lucra cu numere cu șase zecimale. Așa că, atunci când 0,123456 era înlocuit cu 0,123, la mijlocul simulării, Lorenz a observat că prognoza obținută era total diferită. Mici erori produse prin rotunjirea datelor aveau un efect profund asupra prognozelor meteorologice finale. Modelele sale erau reproductibile, deci nu aleatorii, dar diferențele erau greu de înțeles. De ce o mică modificare a codului genera un model de vreme frumoasă într-o simulare sau furtună catastrofală în altele?

Analizând mai amănunțit, el a observat că modelele de vreme rezultate erau limitate la un domeniu, pe care l-a denumit atractor. Nu era posibil să se genereze orice tip de model meteorologic variind datele introduse, ci era favorizat un anumit tip de modele, deși era greu să prezici, cu exactitate, în funcție de datele introduse, care urma să fie acela. Aceasta este o caracteristică fundamentală a sistemelor haotice - ele urmează un tipar, dar drumul înapoi de la un rezultat final la date inițiale specifice nu poate

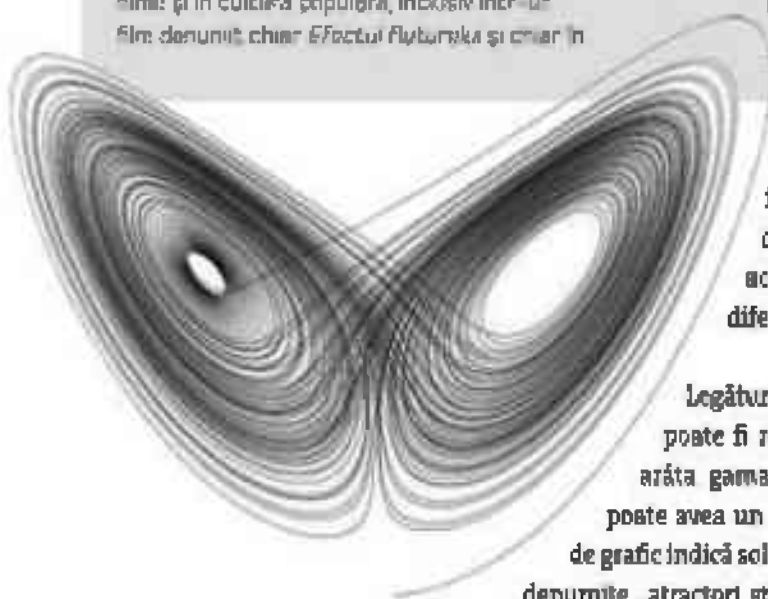
2005

Se constată că lunile lui Neptun au o mișcare orbitală haotică.

Efectul fluturelui

Ideea principală a Teoriei haosului, aceea că schimbări mici pot avea mai târziu efecte mari, este deseori numită „efectul fluturelui”, după exemplul dat de Lorenz, care a spus că un fluture poate să bată din aripi și să provoace o furtună. Această idee, legată mai ales de căștigarea în timp, a apărut în multe filme: și în cultura populară, inclusiv într-un film denumit chiar *Efectul fluturelui* și chiar în

Jurassic Park. În filmul *O viață minunată*, din 1946, un inginer îi arată președintelui principal, George, cât de rău ar fi fost în orașul lui dacă el nu s-ar fi născut. Inginerul spune: „Îți s-a făcut un mare dar, George. O șanță de a vedea cum ar fi fost lumea fără tine”. George află că înșip. Faptul că există l-a salvat pe un om de la înec și că viața lui este cu adevărat una minunată.



fi refăcut, din cauza multitudinii de căi potențiale care duc spre acel rezultat. Sunt numeroase căi diferite de a obține rezultatul final.

Legătura dintre datele inițiale și rezultat poate fi redată printr-un grafic, pentru a arăta gama de comportamente pe care le poate avea un anumit sistem haotic. Un astfel de grafic indică soluțiile atractive, care sunt uneori denumite „atractori strani”. Un exemplu celebru este atractorul lui Lorenz, care arată ca o serie de cifre opt ușor înălțate și răsucite una în raport cu cealaltă, imitând forma aripiilor de fluture.

Teoria haosului a apărut în aceeași perioadă în care au fost descoperiți fractalii. De fapt, cele două concepte sunt strâns legate. Graficele atractorilor soluțiilor haotice ale multor sisteme pot apărea ca fractali, în care structura este similară la orice scară.

Exemple timpurii Deși computerele au dat un impuls elaborării teoriei haosului, permițându-le matematicienilor să calculeze comportamente pentru date inițiale diferite, sisteme mai simple cu comportament haotic au fost observate mult mai devreme. De exemplu, la sfârșitul secolului al XIX-lea, haosul se aplica pentru traiectoria bilelor de biliard și pentru stabilitatea orbitelor.

Jacques Hadamard a studiat modelul matematic al mișcării unei particule pe o suprafață curbată, cum ar fi o minge pe un teren de golf, cunoscută sub numele de bilele lui Hadamard. Pe unele suprafețe, traiectoriile bilelor de biliard devin instabile, iar ele cad de pe margine. Altele rămân pe masă, dar urmează traiectorii diferite. La scurt timp după aceea, Henri Poincaré a descoperit soluții non-repetitive pentru orbitele a trei corpuri aflate sub influența gravitației, cum ar fi Pământul cu două Luni, descoperind din nou orbite care erau instabile. Cele trei corpuri se orbitau în bucle care se modificau tot timpul, dar nu se despărțeau unele de altele. Matematicienii au încercat, apoi, să dezvolte această teorie a mișcărilor corpurilor multiple, cunoscută ca teoria ergodică, și au aplicat-o fluidelor turbulente și oscilațiilor electrice din circuitele radio. Începând din anul 1950, teoria haosului s-a dezvoltat rapid, prin descoperirea unor noi sisteme haotice și prin introducerea computerelor, pentru ușurarea calculelor. ENIAC, unul dintre primele computere, a fost folosit pentru prognoze meteorologice și pentru studierea haosului.

Comportamentul haotic este răspândit în natură. În afară de faptul că afectează evoluția vremii și curgerea unor fluide, haosul apare în multe sisteme de corpuri multiple, inclusiv în orbitele planetelor. Neptun are peste o duzină de Luni. În loc să urmeze aceleași orbite an după an, haosul face ca Lunile lui Neptun să ricoșeze și să se miște pe orbite instabile, care se schimbă în fiecare an. Unii cercetători cred că ordinea din sistemul nostru solar poate fi, până la urmă, redusă la haos. Dacă planetele din sistemul nostru solar și nu numai au fost implicate într-un uriaș joc de biliard, în urmă cu miliarde de ani, care au zguduit orbitele până când toate corpurile instabile au fost eliminate, atunci modelele stabile ale planetelor pe care le vedem astăzi sunt ceea ce a rămas după acel joc.

” TOȚI OAMENII DIN ACEA CURSĂ AU MURIT! HARRY NU A FOST ACOLO CA SĂ ÎL SALVEZE, PENTRU CĂ TU NU AI FOST ACOLO CA SĂ ÎL SALVEZI PE HARRY! VEZI, GEORGE: TU CHIAR AI AVUT O VIAȚĂ MINUNATĂ. NU VEZI CE GREȘALĂ AR FI SĂ O ÎROSEȘTI? ”

O viață minunată, 1946

**Idee de bază
ordine în haos**

13 Ecuația lui Bernoulli

Relația dintre viteza și presiunea fluidelor care curg este dată de ecuația lui Bernoulli. Aceasta arată de ce zboară avioanele, cum curge sângele în corpul nostru și cum este injectat combustibilul în motoarele automobilelor. Fluidele care curg repede generează o presiune joasă care explică portanța asociată cu o aripă de avion și îngustarea unui jet de apă care curge dintr-un robinet. Folosind acest efect pentru măsurarea presiunii sângelui, Daniel Bernoulli a introdus tuburi direct în venele pacienților săi.

Când dați drumul unui robinet, coloana de apă care curge din acesta este mai îngustă decât deschizătura robinetului. De ce? Și ce legătură are acest lucru cu modul în care zboară avioanele și cu angioplastiile?

Fizicianul și medicul olandez Daniel Bernoulli a înțeles că apa în mișcare generează presiune joasă. Cu cât curge mai repede, cu atât mai mică este presiunea sa. Dacă vă imaginați un tub orizontal din sticlă transparentă, în care este pompată apă, puteți măsura presiunea apei introducând pe verticală un tub capilar transparent în cel orizontal și observând cum se modifică înălțimea coloanei de apă din tubul mai îngust. Dacă presiunea apei este mare, nivelul apei din tubul capilar crește. Dacă presiunea este mică, nivelul apei scade.

Când Bernoulli a mărit viteza apei în tubul orizontal, a constatat o scădere a presiunii în tubul capilar vertical – această scădere a presiunii s-a dovedit a fi proporțională cu viteza apei la pătrat. Așadar, apa sau orice fluid care curge are o presiune mai mică decât apa care stă. Apa care curge dintr-un robinet are o presiune mai mare decât aerul care stă din jurul său și, prin urmare, este atrasă într-o coloană mai îngustă. Această regulă se aplică oricărui fluid, de la apă la aer.

CRONOLOGIE

1738 d.Nr.

Bernoulli descoperă că o creștere a vitezei unui fluid provoacă o scădere a presiunii acestuia.

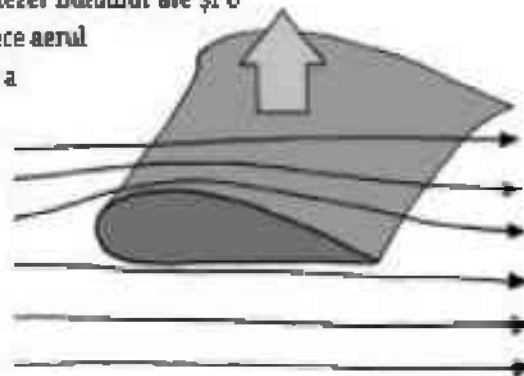
1896

Este inventată o tehnică non-invazivă de măsurare a presiunii sângelui.

Fluxul de sânge Având pregătire medicală, Bernoulli era fascinat de fluxul de sânge din corpul omenesc și a inventat un instrument pentru a putea măsura presiunea sângelui. Un tub capilar, introdus într-un vas de sânge, a fost folosit timp de aproape două sute de ani pentru a lua tensiunea pacienților. A fost, probabil, o ușurare pentru toți cei interesați faptul că s-a descoperit o metodă mai puțin invazivă.

La fel ca apa într-o conductă, sângele dintr-o arteră este pompat din inimă de-a lungul unui gradient de presiune aflat de-a lungul arterei. Dacă o arteră este îngustată, atunci viteza sângelui care trece prin obstrucție crește, potrivit ecuației lui Bernoulli. Dacă vasul este îngustat la jumătate, atunci sângele care curge prin el are o viteză de patru ori mai mare (doi la pătrat). Această accelerare a fluxului de sânge prin arterele obstrucționate poate provoca probleme. În primul rând, fluxul poate deveni turbulent, dacă viteza sa este suficient de mare, și se pot produce vârtejuri. Turbulența în apropierea inimii provoacă murmur cardiac, cu un sunet caracteristic, pe care medicul îl pot recunoaște. De asemenea, scăderea de presiune în zona obstrucționată poate suga spre interior peretele moale al arterei, agravând problema. Dacă artera este lărgită, printr-o angioplastie, fluxul de sânge va crește din nou și totul va fi bine.

Portanța Scăderea presiunii odată cu creșterea vitezei fluidului are și o altă consecință importantă. Avioanele zboară deoarece aerul care fuge peste o aripă de avion generează o scădere a presiunii. Aripile avioanelor sunt construite astfel încât marginea de sus să fie mai curbată decât marginea de jos. Din cauza traseului mai lung pe deasupra aripii, aerul se mișcă mai repede peste suprafața superioară a aripii, astfel încât presiunea acolo este mai mică decât dedesubt.



Diferența de presiune ridică aripa și permite avionului să zboare. Dar un avion greu trebuie să

1903

Frații Wright construind aripi inspirate de Bernoulli, zboară cu primul avion.

Daniel Bernoulli 1700-1782

Fizicianul olandez Daniel Bernoulli a studiat medicina pentru a îndeplini dorința tatălui său, dar lui îi plăcea, de fapt, matematica. Tatăl lui, Johann, era matematician, dar a încercat să îl descurajeze pe Daniel să îi urmeze pe urmași și a fost în competiție cu fiul său de la lungul conașor sale. Bernoulli și-a terminat studiile de medicină la Basel, iar în 1724 a devenit profesor de matematică în Sankt Petersburg. Lucrând cu fluidele, împreună cu matematicianul Leonhard Euler, el a făcut legătura dintre viteză și presiune, prin experimente cu tutun care au fost folosiți, până la urmă, de medici, pentru a măsura presiunea sângelui. Bernoulli și-a

dat seama că fluxul și presiunea lichidelor erau legate de conservarea energiei și a demonstrat că, dacă viteza crește, atunci presiunea scade. Daniel a obținut un post la Basel, în 1733, dar Johann era în continuare invidios pe realizările fiului său. Nu suportă să lucreze în același departament cu el și chiar l-a dat afară din casă. Cu toate acestea, Daniel i-a dedicat cartea sa *Hydrodynamica*, scrisă în 1734, dar nepublicată până în 1738, tatălui său. Bernoulli Senior i-a fost însă călela fiului său, publicând o carte similară, denumită *Hydraulica*. Daniel, supărat din cauza plagiatului, s-a dedicat medicinei pentru tot restul vieții sale.

se miște foarte rapid pentru a obține o diferență de presiune suficient de mare ca să îi dea portanță suficientă pentru a-l ridica la decolare.

Un efect similar explică modul în care combustibilul este injectat într-un motor de mașină printr-un carburator. O duză specială, numită tub venturi (un tub larg cu o „talie” îngustă la mijloc), produce aer la presiune scăzută, obstrucționând și apoi eliberând fluxul, fenomen prin care combustibilul este supt în interior, dirijându-se astfel spre motor un amestec de combustibil cu aer.

Conservarea Daniel Bernoulli a descoperit ecuația care îl poartă numele gândindu-se cum se aplică fluidelor legea conservării energiei. Fluidele, inclusiv lichidele și aerul, sunt substanțe continue care se pot deforma tot timpul. Dar ele trebuie să respecte legile conservării, nu doar pe cea a energiei, ci și a masei și a momentului cinetic. Întrucât orice fluid în mișcare își rearanjează continuu atomii din interiorul său, acești atomi trebuie să respecte legile mișcării descrise de Newton și de alții. Prin urmare, în orice fluid, atomii nu pot fi creați sau distruși, ci sunt mutați dintr-o parte în alta. Coliziunile dintre atomi trebuie luate în considerare, iar, când se ciocnesc, vitezele lor sunt prestabilite de conservarea momentului cinetic liniar. De asemenea, cantitatea totală de energie preluată de toate particulele trebuie să fie fixă și nu poate să se deplaseze dintr-o zonă în alta din interiorul sistemului.

Aceste legi ale fizicii sunt folosite astăzi pentru modelarea matematică a unor comportamente diverse ale fluidelor, mergând de la prognozele meteorologice, curenții oceanici, circulația gazelor în stele și în galaxii și fluxul fluidelor în corpul nostru. Prognoza meteorologică se bazează pe modelarea computerizată a mișcărilor multor atomi, alături de termodinamică, pentru a anticipa modificările căldurii în timp ce atomii se mișcă și schimbă densitatea, temperatura și presiunea în diferite zone. Din nou, schimbările de presiune și viteză sunt legate, iar acest lucru provoacă vânt, pentru ca atomii să curgă de la presiune ridicată la presiune scăzută. Aceste idei au fost folosite pentru modelarea matematică a traiectoriei uraganului Katrina, când acesta se apropia de coasta americană, în 2005.

**” MAȘINI ZBURĂTOARE
MAI GRELE DECÂT AERUL
NU POT FI REALIZATE. NU
AM NICI CEL MAI MIC
DRAM DE ÎNCREDERE ÎN
NAVIGAȚIA AERIANĂ ALTFEL
DECÂT ÎN BALON, NICI NU
AȘTEPT REZULTATE BUNE ALE
ACESTOR ÎNCERCĂRI DESPRE
CARE AUZIM. “**

Lord Kelvin, 1895

Legile conservării sunt exprimate într-o serie de ecuații ulterioare, denumite ecuațiile Navier-Stokes, după savanții care le-au elaborat. Ele explică vâscozitatea, adeziivitatea fluidului, datorată forțelor exercitate între moleculele care îl alcătuiesc. Abordând mai mult conservarea decât predicția absolută, aceste ecuații urmăresc schimbările și circulația particulelor fluidului în medie, nu și numărul total de atomi.

Ecuațiile Navier-Stokes ale dinamicii fluidului, deși sunt suficient de detaliate pentru a explica multe sisteme complexe, cum ar fi fenomene climatice incluzând El Niño și uraganele, nu pot să descrie fluxuri extrem de turbulente, cum ar fi o cascadă sau jetul unei fântâni arteziene. Turbulența este mișcarea aleatorie a apei perturbate, caracterizate de vârtejuri și de instabilitate. Se produce când fluxul devine foarte rapid și se destabilizează. Deoarece turbulența este atât de greu de descris matematic, încă se oferă premii importante în bani savanților, pentru a propune noi ecuații care să descrie aceste situații extreme.

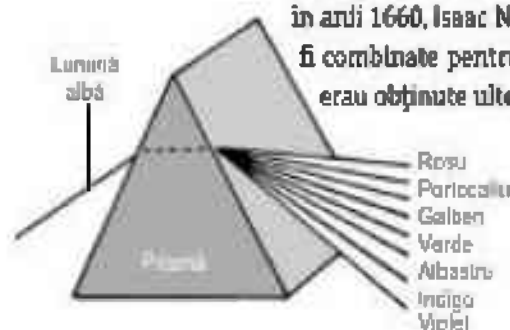
**Idee de bază
artere și aerodinamică**

14 Teoriaculorilor a lui Newton

Toți suntem încântați de frumusețea curcubeilor – Isaac Newton a explicat cum se formează. Trecând lumina albă printr-o prismă, el a descoperit că aceasta se desparte în fascii în culorile curcubeului și a demonstrat că aceste culori erau cuprinse în lumina albă, și nu înlipărite în prismă. Teoria culorilor a lui Newton a stârnit controverse în epoca sa, dar a influențat, de atunci, generații de artiști și de savanți.

Când o rază de lumină albă trece printr-o prismă, la ieșire se separă în culorile curcubeului. Curcubeiele de pe cer apar în mod similar, când lumina soarelui este separată de picăturile de apă în culorile spectrului: roșu, portocaliu, galben, verde, albastru, indigo și violet.

Toate amestecate Făcând experimente cu lumină și prisme în laboratorul său, în anul 1660, Isaac Newton a demonstrat că numeroasele culori ale luminii pot fi combinate pentru a forma lumina albă. Culorile erau unitățile de bază, nu erau obținute ulterior prin amestec și nu erau nici în sticla prismei, așa cum



se crezuse până atunci. Newton a separat fascicule de lumină roșie și albastră și a demonstrat că aceste culori nu mai puteau fi descompuse, dacă erau trecute prin mai multe prisme.

Deși astăzi este atât de cunoscută, teoria culorilor a lui Newton a stârnit controverse în epocă. Confrății săi savanți au contestat-o vehement, preferând să creadă că culorile proveneau din combinația de lumină albă și întuneric, fiind un fel de umbră.

CRONOLOGIE

1672 d.Hr.

Newton explică fenomenul curcubeului.

1810

Goethe își publică tratatul despre culori.

Newton a dus cele mai învergunate bătălii cu contemporanul său la fel de celebru, Robert Hooke. Cei doi s-au contrasat public cu privire la teoria culorilor, întreaga lor viață. Hooke credea că lumina colorată ar fi ceva imprimat din afară, ca atunci când privești printr-o sticlă murdară. El a citat numeroase exemple de efecte de lumină colorate neobișnuite, din viața reală, pentru a-și argumenta teoria, și l-a criticat pe Newton pentru că nu făcuse mai multe experimente.

Newton și-a mai dat seama că obiectele se văd colorate într-o cameră luminată deoarece ele imprăștie sau reflectă lumina de o anumită culoare, nu deoarece culoarea ar fi vreo calitate a obiectului. O sofa roșie reflectă, în primul rând, lumina roșie, iar o masă verde reflectă culoarea verde. O pernă turcoaz reflectă lumină albastră și puțină lumină galbenă. Alte culori apar din amestecul acestor lumini în culorile de bază.

Unde ușoare Pentru Newton, înțelegerea culorii a fost un instrument pentru studierea fizicii luminii înseși. Făcând noi experimente, el a ajuns la concluzia că lumina se comportă în multe privințe ca undele de apă. Lumina se îndoale în jurul obstacolelor, la fel cum valurile mării se deformează în jurul unui zid dintr-un port. Razele de lumină pot, de asemenea, să fie unite pentru a intensifica sau a anula strălucirea lor, la fel ca undele de apă, pentru a le mări sau anula amplitudinea. La fel cum valurile de apă sunt mișcări la scară mare ale moleculelor invizibile de apă, Newton credea că razele de lumină sunt, în esență, unde de particule minuscule sau „corpusculi” de lumină, mai mici chiar decât atomii. Ceea ce nu știa Newton, și s-a descoperit secole mai târziu, era că undele de lumină sunt, de fapt, unde electromagnetice – unde de câmpuri electrice și magnetice combinate – și nu reverberația unor particule solide. Când a fost descoperit comportamentul de undă electromagnetică al luminii, ideea corpusculilor lui Newton a fost lăsată deoparte. A revenit, însă, în atenție, într-o nouă formă, când Einstein a arătat că lumina se poate comporta, uneori, ca un flux de particule care pot purta energie, dar nu au masă.

” NATURA ȘI LEGILE EI
ERAU ASCUNSE-N NOAPTE;
DUMNEZEU A SPUS:
„SĂ VINĂ NEWTON-
ȘI S-A FĂCUT LUMINĂ.”

Alexander Pope, 1727
(epitaful lui Newton)

1905

Einstein arată că lumina se comportă
ca particulele, în anumite condiții.

Undele apar sub multe forme. Sunt două tipuri de bază: unde longitudinale și unde transversale. Undele longitudinale sau de compresie apar atunci când impulsurile care generează unda acționează în aceeași direcție în care călătorește unda, provocând o serie de maxime și de minime de presiune. Undele sonore, generate, de exemplu, de învelișul din piele al unei tobe care vibrează în aer, sunt unde longitudinale, la fel ca și ondulațiile picioarelor unui mirlapod, care se strâng și se despart în timp ce creatura înaintază. Undele luminoase și valurile, pe de altă parte, sunt unde transversale, în care perturbația inițială acționează perpendicular

Roata culorilor

Newton a pus culorile curcubeului în ordine, de la roșu la albastru, și a vădit cu el o roată, cu să arate modurile în care se combină culorile. Culorile primare – roșu, galben și albastru – au fost dispuse de jur împrejur și, când au fost combinate în diferite proporții, au generat toate celelalte culori. Culorile complementare, cum ar fi albastru și portocaliu, au fost plasate în opoziție una cu cealaltă. Mult timp, au devenit interesante de lucru culorile a lui Newton și, mai ales, de roata culorilor, care i-a ajutat să realizeze contraste și efecte de lumină. Culorile complementare contrastează cel mai mult și, prin urmare, sunt utile pentru pictarea umbrelor.

pe direcția de înaintare a undei. Dacă împingeți un resort întins și îl faceți să oscileze înainte și înapoi, de-a lungul acestuia se va transmite o undă transversală, deși mișcarea mâinii voastre este perpendiculară pe el. În mod similar, un șarpe produce o undă transversală când se târăște, folosind mișcări laterale pentru a înainta. Valurile sunt și ele transversale, deoarece moleculele individuale de apă plutesc în sus și în jos, în timp ce valul în sine înaintază orizontal. În cazul undelor luminoase, mișcarea transversală este datorată schimbărilor de intensitate a câmpurilor electrice și magnetice, care sunt aliniate perpendicular pe direcția propagării undelor.

Spectrul Diferitele culori ale luminii reflectă diferitele lungimi de undă ale acestor unde electromagnetice. Lungimea de undă este distanța măsurată dintre două vârfuri consecutive ale undei. La trecerea printr-o prismă, lumina albă se separă în mai multe fascicule, pentru că fiecare dintre aceste fascicule are o lungime de undă diferită și, prin urmare, este refractată de sticlă sub un unghi diferit. Prismă înclină undele luminoase sub un unghi care depinde de lungimea de undă a luminii, lumina roșie fiind înclinată cel mai puțin, iar cea albastră cel mai mult, generându-se secvența de culori ale curcubeului. Spectrul luminii vizibile apare în ordinea lungimilor de undă, de la roșu, care are lungimea de undă cea mai mare, trecând prin verde până la albastru, care are lungimea de undă cea mai mică.

Ce se află la fiecare capăt al curcubeului? Lumina vizibilă este doar o parte a spectrului electromagnetic. Este atât de importantă pentru noi deoarece ochii noștri au evoluat astfel încât să folosească această parte anume a spectrului. Întrucât lungimile de undă ale luminii vizibile sunt, în mare, la aceeași scară cu atomii și moleculele (sute de miliarde dintr-un metru), interacțiunile dintre lumină și atomi într-o substanță sunt mari. Ochii noștri au evoluat ca să folosească lumina vizibilă deoarece aceasta este foarte sensibilă la structura atomică. Newton a fost fascinat de modul în care funcționează ochiul; chiar și-a înfipt un arc în spatele unui ochi ca să vadă cum afectează presiunea percepția culorii.

Dincolo de lumina roșie se află lumina infraroșie, cu lungimi de undă de milioane de metri. Razele infraroșii poartă căldura soarelui și sunt receptate de ochelari de vedere speciali pentru noaptea, cu care se „vede” căldura corpurilor. Mai lungi sunt microondele, cu lungimi de undă de ordinul milimetrilor până la al centimetrilor, și undele radio, cu lungimi de undă de ordinul metrilor și mai mari. Cuptoarele cu microunde folosesc unde electromagnetice pentru a roti moleculele de apă din mâncare, încălzindu-le. La celălalt capăt al spectrului, dincolo de albastru, este lumina ultravioletă. Aceasta este emisă de Soare și ne poate afecta pielea, deși mare parte din ea este oprită de stratul de ozon al Pământului. La lungimi de undă și mai scurte sunt razele X – folosite în spitale, deoarece trec prin țesuturile omenești –, iar lungimile de undă cele mai mici sunt cele ale razelor gamma.

Evoluții În timp ce Newton a elucidat fizica luminii, filosofi și artiști au rămas interesați de percepția noastră asupra culorilor. În secolul al XIX-lea, polimatul german Johann Wolfgang Goethe a cercetat cum ochiul omenesc și mintea interpretează culori plasate una lângă alta. Goethe a introdus magenta în roata culorilor a lui Newton și a observat că umbrele capătă deseori culoarea opusă obiectului luminat, astfel încât o umbră albastră pare să cadă după un obiect roșu. Roata culorilor actualizată de Goethe a rămas preferata artiștilor și a designerilor până astăzi.

Idee de bază dincolo de curcubeu

15 Principiul lui Huygens

Dacă aruncați o piatră într-un lac, aceasta produce o undă circulară care se extinde. De ce se extinde? Și cum ați putea să îi prevedeați comportamentul, dacă va întâlni un obstacol, cum ar fi un bușleac, sau dacă se lovește de malul lacului? Principiul lui Huygens este un instrument care ne ajută să înțelegem cum se comportă valurile. Imaginându-ne că fiecare punct din frontul unei val este o nouă sursă generatoare de unde.

Fizicianul olandez Christiaan Huygens a descoperit o modalitate practică de a prezice înaintarea valurilor. Să spunem că aruncați o piatră într-un lac și apar inele de unde. Dacă vă imaginați că înghețați o undă circulară, la un moment dat, atunci fiecare punct din această undă poate fi considerat o nouă sursă de unde circulare ale căror proprietăți sunt asemenea celor ale undei înghețate. Este ca și cum un inel de pietre ar fi fost aruncat simultan în apă, urmărind conturul primei unde. Acest nou set de perturbări extinde în continuare unda, iar noile poziții marchează punctele inițiale ale altui set de surse de împrăștiere a energiei undei. Prin repetarea principiului de mai multe ori poate fi descrisă evoluția undei.

Paz cu paz Ideea că fiecare punct al frontului unei unde acționează ca o nouă sursă de unde cu frecvențe și faze similare este denumită principiul lui Huygens. Frecvența unei unde este numărul de cicluri ondulatorii care se produc într-o anumită perioadă, iar faza undei arată unde anume ne găsim într-un ciclu. De exemplu, toate creștele valurilor au aceeași fază, iar bazele valurilor sunt la o jumătate de ciclu în urma lor. Dacă vă imaginați valurile dintr-un ocean, distanța dintre două creste de val, respectiv lungimea de undă, poate fi de 100 de metri. Frecvența valurilor, sau numărul de lungimi de undă care trec prin același punct

CRONOLOGIE

1655 d.Hr.

Huygens descoperă Titan, satelitul lui Saturn.

1678

Este publicat tratatul lui Huygens privind teoria luminii ca undă.

Christiaan Huygens 1629–1695

Fiu al unui diplomat olandez, Christiaan Huygens a fost un fizician aristocrat, care a colaborat intens cu savanți și filosofi din Europa secolului al XVII-lea, inclusiv cu nume celebre ca Newton, Hooke și Descartes. Primele lucrări publicate de Huygens au fost probleme matematice, dar el s-a ocupat și cu studiul planetei Saturn. A fost un savant cu spirit practic, care a patentat primul ceas cu pendul și a încercat să proiecteze un ceas nautic, care să poată fi luat pe mare, pentru

calcularea longitudinii. Huygens a călătorit prin Europa, în special la Paris și la Londra, întâlnindu-se și lucrând cu savanți importanți. În studii privind pendulul, mișcarea circulară, mecanica și optica. Deși a studiat alături de Newton forța centrifugă, Huygens a considerat că teoria gravitației a lui Newton, cu conceptul ei de acțiune la distanță, este „absurdă”. În 1678, Huygens și-a publicat tratatul privind teoria luminii ca undă.

Într-o secundă, poate fi de o lungime de undă de 100 de metri în 60 de secunde, sau 1 ciclu pe minut. Cele mai rapide valuri oceanice sunt valurile tsunami, care pot atinge 800 de kilometri pe oră, viteza unui avion, încetinind până la zeci de kilometri pe oră și înălțându-se când ajung pe coastă și o lovesc.

Pentru a urmări înaintarea unui val, principiul lui Huygens poate fi aplicat în mod repetat când acesta întâlnește obstacole și traversează traiectoria altor valuri. Dacă desenați poziția crestei unui val pe o foaie de hârtie, atunci pozițiile ulterioare pot fi desenate folosind compasuri pentru a trasa cercuri, pornind din mai multe puncte ale crestei și trasând apoi o linie de-a lungul conturilor exterioare ale acestora.

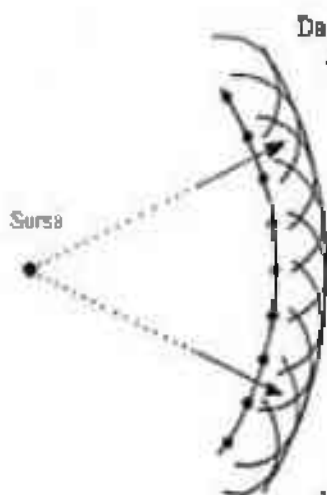
Metoda simplă a lui Huygens redă înalțarea undelor în numeroase circumstanțe. O undă liniară rămâne liniară în timp ce se propagă, deoarece undele circulare pe care le generează de-a lungul său se unesc pentru a forma un nou front liniar, în fața primului.

1873

Ecuațiile lui Maxwell arată că lumina este o undă electromagnetică.

2005

Sonda Huygens aterizează pe Titan.



Dacă urmăm, însă, un set de două valuri oceanice liniare paralele, în timp ce trec printr-o spărtură mică din parapetul unui port, ele sunt distorsionate și devin arcuri, imediat după ce trec prin deschizătură. Doar o mică porțiune dreaptă de val trece prin gaură, iar arcurile se formează la capetele acestei porțiuni unde, conform principiului lui Huygens, sunt generate noi unde circulare. Dacă gaura este mică în comparație cu distanța dintre valuri, atunci marginile rotunjite domină tiparul, iar unda transmisă poate fi aproape semicirculară. Această împrăștiere a energiei undei în fiecare capăt al unei deschizături este numită difracție.

În 2004, un tsunami catastrofal, provocat de un mare cutremur în largul Sumatrei, s-a extins în întregul Ocean Indian. În unele locuri, forța lui a fost diminuată, pentru că energia undei s-a împrăștiat prin difracție, la trecerea pe lângă și printre grupuri de insule.

Huygens pe Titan

Sonda spațială Huygens a aterizat pe suprafața lui Titan, satelit al lui Saturn, în data de 14 ianuarie 2005, după o călătorie de șapte ani. Aflată sub învelișul protector de câțiva metri, sonda Huygens transporta o serie de instrumente pentru experimente de măsurare a vânturilor, a presiunii atmosferice, a temperaturii și a compoziției suprafeței, în timpul coborârii prin atmosferă și după aterizarea pe o câmpie înghețată. Titan este o lume ciudată, ale cărei atmosferă și suprafață sunt pline de metan lichid. Este, cred unii, un loc căre ar putea să găsim forme primitive de viață, cum ar fi bacterii care se hrănesc cu metan. Huygens a fost prima sondă spațială care a aterizat pe un corp cereesc de la marginea sistemului solar.

Să vă credeți urechilor? Principiul lui Huygens explică și de ce, dacă strigați la cineva dintr-o altă cameră, acea persoană vă aude vocea ca și cum ați sta în pragul ușii, nu în altă parte a camerei. Potrivit lui Huygens, când undele ajung la ușă, la fel ca la deschizătura din parapetul portului, un nou set de surse punctuale de energie ondulatorie se creează acolo. Astfel încât, pentru persoana care ascultă, undele sunt generate la ușă, parcursul lor din cealaltă cameră fiind pierdut.

În mod similar, dacă priviți o undă circulară când ajunge la marginea unui lac, reflexia ei generează cercuri în sens invers. Primul punct al undei care atinge marginea se comportă ca o nouă sursă, astfel încât începe propagarea inversă a unei noi unde circulare. Deci reflexiile undelor pot fi descrise, la rândul lor, folosind principiul lui Huygens.

Dacă valurile oceanului se mișcă în ape mai puțin adânci, cum sunt cele de lângă o plajă, viteza lor se

schimbă, iar creștele valurilor se îndoaie înspre interior, spre goluri. Huygens a descris această „refracție” modificând raza valurilor mici rezultate, astfel încât valurile mai lente produc valuri mai mici. Valurile mici și lente nu se deplasează la fel de rapid ca valurile rapide, așadar noua creastă de val face un unghi față de cea inițială.

O predicție nerealistă a principiului lui Huygens este că toate aceste noi valuri mici sunt surse de energie ondulatorie și atunci ar trebui să genereze și un val în direcție inversă, ca și un val care înalțează. Atunci de ce se propagă un val doar înainte? Huygens nu a putut să răspundă și a presupus că energia valului se propagă doar înspre exterior, iar mișcarea înapoi este ignorată. Așadar, principiul lui Huygens este, de fapt, doar un instrument util pentru predicția evoluției undelor, și nu o lege explanatorie în adevăratul sens al cuvântului.

Inelele lui Saturn În afară de faptul că a cercetat undele, Huygens a descoperit și inelele lui Saturn. El a fost primul care a demonstrat că planeta este înconjurată de un disc plat și nu este flancată de alți sateliți sau de o denivelare ecuatorială variabilă. El a dedus că același principiu al fizicii care explică orbitele sateliților, gravitația lui Newton se aplică mai multor corpuri mici care orbitează pe un inel. În 1655, Huygens a descoperit, de asemenea, cel mai mare satelit al lui Saturn, Titan. 350 de ani mai târziu, o mare navă spațială, numită Cassini, a ajuns pe Saturn, ducând în ea o capsulă mică, numită după Huygens, care a coborât printre norii atmosferei lui Titan pentru a ateriza pe suprafața din metan înghețat. Titan are continente, dune de nisip, lacuri și poate chiar râuri din metan și etan solid sau lichid, nu de apă. Huygens ar fi fost uimit la gândul că un aparat care îi poartă numele va călători într-o zi spre acea lume îndepărtată, dar principiul numit după el poate fi folosit pentru modelarea valurilor extraterestre descoperite acolo.

” DE FIECARE DATĂ CÂND UN OM LUPTĂ PENTRU UN IDEAL... EL TRIMITE MAI DEPARTE O MICĂ UNDĂ DE SPERANȚĂ ȘI, ÎNTÂLNINDU-SE UNA CU ALTA, PORNITE DINTR-UN MILION DE CENTRE DIFERITE DE ENERGIE ȘI ÎNDRĂZNEALĂ, ACESTE UNDE FORMEAZĂ UN CURENT CARE POATE DĂRĂNA CELE MAI PUTERNICE ZIDURI DE OPRESIUNE ȘI DE REZISTENȚĂ. “

Robert Kennedy, 1966

Idee de bază

propagarea valurilor

16 Legea lui Snell

De ce un pai pus într-un pahar cu apă pare îndoit? Pentru că lumina călătorește cu viteze diferite în aer și în apă, lucru care face razele să se îndoale. Legea lui Snell, care descrie această îndoire a razelor de lumină, explică de ce apar miraje cu bălți pe șoselele încinse și de ce oamenii care intră într-o piscină par să aibă picioare scurte. Este folosită astăzi pentru a ajuta la crearea de materiale inteligente care par invizibile.

Ați chicotit vreodată uitându-vă la un prieten care stă în piscină, pentru că picioarele lui par mai scurte în apă decât pe uscat? V-ați întrebat de ce un pai pare îndoit în paharul vostru? Legea lui Snell dă răspunsul.

Când razele trec prin suprafața de separație dintre două materiale, în care lumina călătorește cu viteze diferite, cum ar fi între aer și apă, razele se îndoale. Acest fenomen se numește refracție. Legea lui Snell arată cât de mare este îndoirea la tranzițiile între diferite materiale și este numită după matematicianul olandez din secolul al XVII-lea Willebrord Snellius, deși acesta nu a publicat-o, de fapt, niciodată. Uneori este numită legea Snell-Descartes, deoarece René Descartes a publicat independent o demonstrație a principiului, în 1637. Acest comportament al luminii era bine cunoscut, descrieri apărând în lucrări din secolul al X-lea, deși formula matematică nu a fost găsită decât secole mai târziu.

Lumina călătorește mai încet în materiale mai dense, cum ar fi apa sau sticla, comparativ cu aerul. Prin urmare, o rază de lumină îndreptată spre o piscină se îndoiește spre fundul piscinei, când ajunge la suprafața apei. Pentru că razele reflectate ajung la ochii noștri sub un unghi mai mic, îndoindu-se invers, iar noi

CRONOLOGIE

984 d.Hr.

Ibn Sahl scrie despre refracție și lentile.

1621

Snellius formulează legea refracției.

1637

Descartes publică o lege similară.

presupunem că ele vin direct spre noi, picioarele unei persoane care stă într-o piscină par scurtate. Mirajul unei bălți pe o șosea incinsă se formează în mod similar. Lumina din cer se îndoaie și plutește deasupra suprafeței șoselei, pentru că își schimbă viteza în stratul de aer fierbinte de deasupra asfaltului incins. Aerul fierbinte este mai puțin dens decât aerul mai rece, așa că lumina se îndoaie față de verticală și vedem reflexia cerului pe asfalt, arătând ca o bălă.



Unghiul sub care se îndoaie o rază este legat de viteza relativă cu care aceasta călătorește în cele două materiale – tehnic, raportul dintre viteze este egal cu raportul sinusurilor unghiurilor incidente (măsurate față de verticală). Prin urmare, dacă o rază trece din aer în apă și în alte substanțe dense, raza se îndoaie spre interior, iar traiectoria ei devine mai abruptă.

Indicele de refracție lumina călătorește cu viteza amețitoare de 300 de milioane de metri pe secundă în vid (de exemplu, în spațiul gol). Raportul dintre această viteză și viteza luminii într-un material mai dens, cum ar fi sticla, se numește indice de refracție al materialului. Vidul are, prin definiție, indicele de refracție 1; un material cu indicele de refracție 2 va reduce viteza luminii la jumătate din cea în spațiul liber. Un indice de refracție mare înseamnă că lumina se îndoaie mult când trece prin acea substanță.

Sugar sugar

Indicele de refracție este un instrument vital în producerea vinului și a sucului de fructe. Producătorii de vinuri folosesc un refractometru pentru a măsura cantitatea de zahăr din suc de struguri, înainte de a se transforma în vin. Zahărul dizolvat crește indicele de refracție al sucului și, în consecință, de asemenea, cât alcool va conține vinul.

Indicele de refracție este o proprietate a materialului în sine. Materialele pot fi proiectate pentru a avea un anumit indice de refracție, ceea ce poate fi util (de exemplu, în proiectarea lentilelor de ochelari pentru corectarea problemelor de vedere ale curvii). Puterea lentilelor și a prismelor

1703

Huygens publică legea lui Snell.

1990

Sunt proiectate meta-materiale.

Cum să faci senzație

Pixinelile sunt unul dintre subiectele preferate ale artistului britanic David Hockney. Plăcându-i să picteze efectele optice ale compunilor care plutesc sub apă, scaldată în lumina strălucitoare a soarelui din California, unde locuiește, în 2001, Hockney a stârnit controverse în artă, sugerând că unii artiști celebri au folosit lentile pentru a-și crea operele, încă din secolul al XV-lea. Dispozitive optice simple puteau proiecta o icoană pe pânză pe care artistul trimis conturul și picta. Hockney a descoperit indicii geometrici sugestivi când a analizat lucrări ale unor vechi maeștri, inclusiv Ingres și Caravaggio.

depinde de indicele lor de refracție; lentilele puternice au indice de refracție mare.

Refracția are loc în cazul oricăror unde, nu doar în cazul luminii. Valurile oceanului încetinesc pe măsură ce adâncimea apei scade, conform schimbării indicelui de refracție. Din cauza acestui fapt, valurile care se mișcă sub un anumit unghi în apele puțin adânci de lângă plajă se înclină spre plajă, pe măsură ce se apropie.

Reflexia internă totală Uneori, dacă o rază de lumină care trece prin sticlă lovește suprafața de separație cu aerul sub un unghi prea mic, atunci raza va fi reflectată de interfață, în loc să își continue drumul prin aer. Acest fenomen se numește reflexie internă totală, pentru că toată lumina rămâne în sticlă. Unghiul critic la care are loc aceasta este determinat, de asemenea, de indicele de refracție relativ al celor două materiale. Fenomenul se produce doar în cazul

undelor care călătoresc dintr-un material cu un indice de refracție ridicat spre unul cu indice de refracție mai mic, de exemplu din sticlă în aer.

Principiul lui Fermat al celui mai scurt timp Legea lui Snell este o consecință a principiului lui Fermat al celui mai scurt timp, care spune că razele de lumină o iau pe traiectoria cea mai scurtă, prin orice substanță. Așadar, căutându-și calea printr-un amestec de materiale cu indici de refracție diferiți, raza de lumină va alege calea cea mai rapidă, preferând materialul cu indice de refracție scăzut. Aceasta este, în esență, o modalitate de a defini ce este un fascicul de lumină și poate fi dedusă din principiul lui Huygens, observând că razele care parcurg calea cea mai rapidă vor tinde să se consolideze una pe cealaltă și vor crea un fascicul, în timp ce razele care o iau în toate direcțiile se vor anula, în medie. Matematicianul Pierre Fermat a propus acest principiu în secolul al XVII-lea, când studiul opticii era la apogeu.

Meta-materiale Astăzi, fizicienii creează o nouă categorie de materiale speciale – denumite meta-materiale – care se comportă în moduri noi atunci când

Pierre Fermat 1601-1665

Unul dintre cei mai mari matematicieni ai timpului său, Pierre Fermat a fost avocat în Toulouse, ocupându-se de matematică în timpul liber. După ce le-a scris unor matematicieni cunoscuți din Paris, reputația lui Fermat s-a consolidat, dar a trebuit să facă mari eforturi ca să publice ceva. S-a certat cu René Descartes în legătură cu teoria concurență a refracției enunțată de acesta, descriind-o ca o „bătășină în umbră”. Mai târziu, Fermat și-a cristallizat lucrările în principiul lui Fermat al timpului celui mai scurt, concept potrivit căruia lumina călătorește pe drumul cel mai scurt. Activitatea lui Fermat a fost întreruptă de războiul civil din Franța și de declinarea

unei epidemii de ciumă. În poezia zvonurilor falsă că ar fi fost răpus de ciumă, a continuat să lucreze la mai multe teorii. Este cunoscut mai ales pentru ultima teoremă a lui Fermat, care spune că suma a două numere la puterea a treia nu poate fi un număr la puterea a treia. Fermat a scris pe marginea unei cărți că descoperise „o dovadă cu adevărat remarcabilă (a acestei teoreme), dar care ocupă marginea este prea mică să o cuprindă”. Dovada pierdută a lui Fermat i-a contrariat pe matematicieni timp de trei secole, înainte ca matematicianul britanic Andrew Wiles să găsească, în sfârșit, o demonstrație, în 1994.

sunt luminate sau expuse altor unde electro-magnetice. Meta-materialele sunt realizate astfel încât aspectul lor în lumină să fie determinat de structura lor fizică mai degrabă decât de compoziția lor chimică. Opalul este un meta-material natural – structura sa cristalină afectează modul în care lumina se reflectă și se refractă pe suprafața lui, generând scântele de diferite culori.

La sfârșitul anilor 1990, au fost create meta-materialele cu indici de refracție negativi, în care lumina se îndoaie în direcție opusă la contactul cu o interfață. Dacă un prieten de-al voștri ar sta într-o piscină cu un lichid cu indice de refracție negativ, atunci, în loc să îi vedeți partea din față a picioarelor mai scurtă, i-ați vedea partea din spate a picioarelor proiectată pe corp, în fața voastră, în piscină. Materialele cu indice de refracție negativ pot fi folosite pentru producerea unor „superlente” care formează imagini mult mai clare decât sticla de cea mai bună calitate. Iar, în 2006, fizicienii au reușit să fabrice o „îmbrăcămintă” care pare complet invizibilă când este expusă la microunde.

Idee de bază
lumina găsește cea mai scurtă cale.

17 Legea lui Bragg

Structura elicoidală dublă a ADN-ului a fost descoperită folosindu-se legea lui Bragg. Aceasta explică modul în care undele, călătorind printr-un solid ordonat, se întăresc una pe cealaltă pentru a genera un tipar de pete strălucitoare, distanța dintre acestea depinzând de distanțele regulate dintre atomii sau moleculele din solid. Măsurând tiparul emergent de pete, poate fi dedusă structura unui cristal.

Dacă stați într-o cameră luminată, puneți o mână aproape de perete și veți vedea în spatele ei o umbră clară. Când îndepărtați mâna de perete, conturul umbrei devine difuz. Acest fenomen este provocat de lumina care se difractă în jurul mâinii voastre. Razele de lumină se împrăstie înspre interior, în jurul degetelor, și fac conturul acestora neclar. Toate undele se comportă astfel. Valorile se difractă în jurul marginilor digurilor, iar undele sonore se curbează în afară, lângă marginile scenelor din sălile de concert.

Difrakția poate fi descrisă folosind principiul lui Huygens, care prevede traiectoria unei unde considerând fiecare punct al frontului unei drept o sursă nouă de energie ondulatorie. Fiecare punct produce o undă circulară, iar aceste unde se unesc pentru a descrie înaintarea undei. Dacă frontul unei este restricționat, atunci undele circulare din capete se împrăstie nestingherite. Acest lucru se întâmplă când o serie de unde paralele inconjoară un obstacol, cum ar fi mâna voastră, sau când undele trec printr-o deschizătură, cum ar fi intrarea într-un port sau o ușă.

Cristalografia cu raze Fizicianul australian William Lawrence Bragg a descoperit că difrakția se produce chiar și când undele trec prin cristale. Un cristal este alcătuit

CRONOLOGIE

1895 d.Hr.

Röntgen descoperă
razele X.

1912

Bragg descoperă legea
sa a difrakției.

William Lawrence Bragg 1890–1971

William Lawrence Bragg s-a născut în Adelaide, unde tatăl său, William Henry, era profesor de matematică și de fizică. Bragg junior a devenit primul australian care a făcut o radiografie când a căzut de pe bicicletă și și-a rupt o mână. A studiat fizica și, după absolvire, și-a urmat tatăl în Anglia. La Cambridge, Bragg a descoperit legea sa a difracției razelor X prin cristale. Și-a discutat cele cu tatăl lui, dar s-a supărat pentru

că mulți au crezut că tatăl, nu el, făcuse descoperirea. În timpul Primului și al celui de-al Doilea Război Mondial, Bragg s-a înrolat și a lucrat la sonar. După război, a revenit la Cambridge, unde a înființat mai multe grupări de cercetare. În ultima perioadă a carierei sale, Bragg a devenit un cunoscut conferențiar de știință, susținând prelegeri pentru mii la London Royal Institution și apărând regulat la televizor.

din mai mulți atomi prinși într-o structură ordonată de rețea, cu rânduri și coloane regulate. Când Bragg a trecut fascicule de raze X printr-un cristal și le-a proiectat pe un ecran, razele s-au împrăștiat printre șirurile de atomi. Razele emergente s-au adunat mai multe în anumite direcții decât în altele, alcătuiind treptat un tipar de pete. Diferite tipare de pete au apărut în funcție de tipul de cristal folosit.

Pentru a observa acest efect, a fost nevoie de raze X, descoperite de fizicianul german Wilhelm Röntgen în 1895, deoarece lungimea lor de undă este minuscule, de o mie de ori mai mică decât lungimea de undă a luminii vizibile, și mai mică decât spațiul dintre atomii din cristal. Așadar, razele X sunt suficient de mici pentru a trece prin cristal și pentru a fi puternic difractate de straturile cristalului.

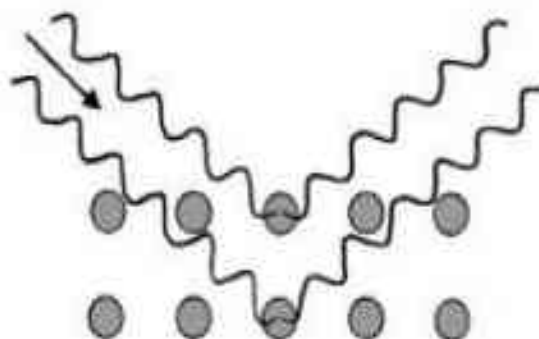
Cele mai strălucitoare pete de raze X sunt generate când razele traversează câi prin cristal care au drept rezultat semnale „în fază” unele cu celelalte. Undele în fază, la care vârfurile și minimele sunt aliniate, se acumulează pentru a-și întări strălucirea și a genera pete.

” **IMPORTANT ÎN ȘTIINȚĂ
NU ESTE SĂ DESCOPERI
LUCRURI NOI, CI SĂ
DESCOPERI NOI CĂI DE
A GÂNDI DESPRE ELE.** “

Sir William Bragg, 1968

1953

Cristalografia cu raze X este utilizată pentru a descoperi structura ADN-ului.



Când undele sunt „defazate”, cu vârfurile și minimele nealiniate, ele se anulează și nu rezultă nici o lumină. Astfel, puteți vedea un tipar de puncte strălucitoare, spațiul dintre ele indicând distanțele dintre șirurile de atomi din cristal. Efectul de întărire și de anulare a undelor este numit „interferență”.

Bragg a formulat matematic aceste idei analizând două unde, una reflectându-se în suprafața cristalului și alta penetrând un singur strat de atomi din interiorul cristalului. Pentru ca a doua undă să fie în fază și să o întărească pe prima, trebuie să parcurgă o distanță suplimentară, care este cu un număr întreg de lungimi de undă mai mare decât distanța parcursă de prima undă. Această distanță suplimentară depinde de unghiul la care razele lovesc cristalul și de distanța dintre straturile de atomi. Legea lui Bragg arată cum interferența observată și spațiul dintre șirurile de atomi din cristal sunt legate între ele, pentru o anumită lungime de undă.

Structura profundă Cristalografia cu raze X este folosită pe scară largă pentru a determina structura noilor materiale, iar chimiștii și biologii o folosesc pentru a cerceta structurile moleculare. În 1953, a fost folosită pentru a identifica structura

Structura elicoidală dublă a ADN-ului

În anul 1950, cercetători erau preocupați de structura ADN-ului, unul dintre elementele fundamentale ale vieții. Fizicienii britanici James Watson și Francis Crick au publicat pentru prima dată reprezentarea grafică a structurii sale elicoidale duble în 1953, ceea ce a reprezentat un progres uriaș. Ei au recunoscut că s-au inspirat din cercetările realizate la King's College din Londra, de Maurice Wilkins și Rosalind Franklin, care au făcut fotografii cristalografice cu raze X ale ADN-ului, folosind legea lui Bragg. Franklin

a făcut fotografii limitor de clare, în care se observă senza de interferențe de puncte luminoase care a dezvăluit structura ADN-ului. Crick, Watson și Wilkins au primit Premiul Nobel pentru realizarea lor, dar Franklin nu a primit trofeul, pentru că a murit tânără. Unei critici că rolul său în această descoperire a fost minimizat, probabil din cauza atitudinii sexiste din acea perioadă. Este posibil și ca rezultatele lui Franklin să fi ajuns la Watson și Crick fără ca ea să știe. Contribuția ei a fost recunoscută de atunci.

Wilhelm Röntgen 1845-1923

Wilhelm Röntgen s-a născut în regiunea Rinului Inferior din Germania și s-a mutat, copil fiind, în Olanda. A studiat fizică la Utrecht și Zurich și a lucrat la mai multe universități înainte de a deveni profesor la Universitatea din Würzburg, iar apoi la cea din München. Röntgen s-a concentrat asupra câștilor și a electromagnetismului, dar este cunoscut în special pentru descoperirea razelor X, în 1895. În timp ce studia curentul electric în trecerea printr-un gaz

cu presiune scăzută, a observat că apărea un strălucim, chimic, chiar și atunci când experimentul era afectat în întinere: absolut. Aceste noi raze luminoase treceau prin mai multe materiale, inclusiv prin pânză neagră de carton, fiind în fața unei plăci fotografice. El a denumit razele X, datorită originii lor era necunoscută. Mai târziu, și-a demonstrat că acestea sunt raze electromagnetice, ca lumina, dar frecvența lor este mult mai înaltă.

elicoidală dublă a ADN-ului; Francis Crick și Jim Watson au făcut celebre lor deducție uitându-se la tiparele de interferență ale razelor X obținute de Rosalind Franklin pentru ADN și ajungând la concluzia că moleculele care le-au generat trebuie să fie dispuse într-o structură elicoidală dublă.

Pentru prima dată, descoperirea razelor X și tehnicile cristalografice le-au oferit fizicienilor instrumente pentru a cerceta structura profundă a materiei și chiar a interiorului corpului omenesc. Multe tehnici folosite astăzi în imagistica medicală se bazează pe principii similare ale fizicii. Tomografia computerizată reassemblează numeroase radiografii ale unor „felii” din corp într-o imagine internă realistă; ultrasunetele preiau ecourile cu înaltă frecvență ale organelor din corp; rezonanța magnetică (RMN) scanează apa din țesuturile corpului, identificând vibrațiile moleculare, cu ajutorul unor magneti puternici; iar tomografia cu emisie de pozitroni (PET) urmărește traiectoriile radiațiilor, la trecerea lor prin corp. Așa că medicii și pacienții deopotrivă le sunt recunoscători unor fizicieni ca Bragg pentru crearea acestor instrumente.

Formula matematică a legii lui Bragg este:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

unde d este distanța dintre straturile de atomi,
 θ este unghiul de incidență al fascicului de raze X asupra
fetei, iar λ este lungimea de undă a fascicului.

Idee de bază a vedea structura

18 Difrakția Fraunhofer

De ce nu poți obține niciodată o fotografie perfectă? De ce este vederea noastră imperfectă? Chiar și cea mai mică pată provoacă blurarea imaginii, deoarece lumina este murdărită atunci când trece prin diafragma aparatului de fotografiat. Difrakția Fraunhofer descrie fenomenul blurării pentru razele de lumină care ajung la noi din locuri îndepărtate.

Când privești o navă pe mare, departe, la orizont, este imposibil să îi auzi numele. Poți folosi un binoclu ca să faci acest lucru, mărirea imaginii, dar de ce ochii au o rezoluție atât de limitată? Motivul este mărimea pupilelor noastre (diafragma ochilor). Ele trebuie să fie deschise destul de larg ca să lase să treacă suficientă lumină pentru a declanșa senzorii din ochi, dar cu cât sunt deschise mai mult, cu atât undele luminoase care trec prin ele sunt mai blurate.

Undele luminoase care trec prin cristalinul din ochi pot veni din mai multe direcții. Cu cât este mai mare diafragma, cu atât sunt mai multe direcții din care pot veni razele. La fel ca în cazul difracției Bragg, diferitele traiectorii ale luminii interferează în funcție de sincronizarea sau de nesincronizarea fazelor. Cele mai multe trec prin diafragmă în fază, formând o pată centrală clară și luminoasă. Dar lărgimea petei este tăiată în punctul în care raze adiacente se anulează unele pe altele, și o serie de benzi alternative, luminoase și întunecate, apar la margini. Lărgimea acestei pete centrale este cea care dictează cele mai fine detalii pe care le pot percepe ochii noștri.

Câmp îndepărtat Difrakția Fraunhofer, numită după cel mai bun producător german de lentile, Joseph von Fraunhofer, descrie blurarea imaginilor, percepută atunci când razele de lumină care cad pe o diafragmă sau pe o lentilă ajung pe

CRONOLOGIE

1801 d.Hr.

Thomas Young face experimentul cu fantă dublă.

1814

Fraunhofer inventează spectroscopul.

acestea paralele unele cu altele. Difrakția Fraunhofer, numită și difrakția câmpului îndepărtat, are loc la trecerea luminii dintr-o sursă îndepărtată (de exemplu, Soarele sau stelele) printr-o lentilă. Această lentilă poate fi în ochii noștri (cristalin) sau într-un aparat de fotografiat ori într-un telescop. La fel ca în cazul limitelor ochilor, în toate fotografiile, efectele de difrakție blurează imaginea finală. În consecință, există o limită naturală pentru cât de clară poate fi o imagine, după ce aceasta a trecut prin orice sistem optic - „limita de difrakție”. Această limită este proporțională cu lungimea de undă a luminii și cu inversul mărimei diafragmei sau a lentilei. Prin urmare, imaginile albastre apar mai clare decât cele roșii, iar imaginile percepute printr-un obiectiv sau o lentilă mai mare vor fi mai puțin blurate.

Difrakție La fel cum marginile umbrei mâinii voastre sunt blurate din cauza difrakției luminii din jurul lor, lumina se împrășteie atunci când trece printr-un orificiu îngust sau printr-o fantă îngustă. Cu cât fanta este mai îngustă, cu atât lumina se împrășteie mai mult. Proiectată pe un ecran, lumina care iese din fantă produce o pată centrală strălucitoare, mărginită de benzi alternante întunecate și luminoase, numite franje de interferență, care scad în strălucire când sunt mai departe de centru. Cele mai multe raze trec drept prin fantă și se amplifică una pe cealaltă, dar cele care trec sub un unghi interferează pentru a produce benzi luminoase sau întunecate.

Cu cât este orificiul mai mic, cu atât este mai mare separația dintre benzi, deoarece traiectoriile razelor sunt mai limitate și, prin urmare, mai asemănătoare. Dacă țineți în sus, în lumină, două bucăți de țesătură subțire, fină, cum ar fi două eșarfe de mătase, și le mișcați una față de cealaltă, părțile care se suprapun vor genera benzi luminoase și întunecate similare. Când puneți țesăturile una peste cealaltă și apoi le rotiți, ochii voștri percep o serie de zone întunecate și luminoase care se mișcă pe material. Aceste tipare de interferență ale unor grile suprapuse sunt cunoscute și sub denumirea de „franje moiré”.

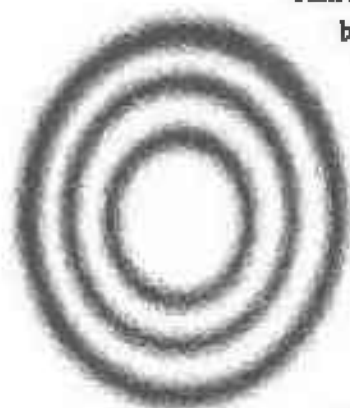
1822

Primele lentile Fresnel
sunt folosite într-un far.

Când diafragma sau lentila este circulară, ca în cazul pupilelor noastre sau al multor aparate optice, pata centrală și benzile care o înconjoară formează o serie de cercuri concentrice numite inele Airy (sau discul lui Airy), după fizicianul scoțian din secolul al XIX-lea George Airy.

Câmp apropiat Difrakția Fraunhofer este observată deseori, dar, dacă sursa de lumină este aproape de planul diafragmei, apare uneori un tipar puțin diferit. Razele de lumină incidente nu sunt paralele, iar undele care sosesc în diafragmă sunt curbate, nu drepte. În acest caz, rezultă un tipar diferit de difracție, în care

benzile nu mai sunt la distanțe regulate. Serile de unde care sosesc iau forma unor suprafețe concentrice curbate, ca foile de ceapă, toate de lățimea unei lungimi de undă și cu sursa de lumină în centru. Când aceste unde rotunjite ajung la planul diafragmei, aceasta le taie cum taie un cuțit foile de ceapă în felii, pornind de la centru. De-a lungul diafragmei, apare un set de inele, fiecare inel reprezentând o zonă în care undele care trec prin ea sunt la o distanță de o lungime de undă una de alta.



Difrakție Fraunhofer

Pentru a înțelege cum se amestecă aceste raze curbate unele cu altele, adunați toate razele din inelele de la diafragmă. Pe un ecran plat, ele se proiectează ca o serie de benzi întunecate și luminoase, la fel ca în cazul razelor paralele, dar distanțele dintre ele nu mai sunt regulate, devenind mai subțiri pe măsură ce se îndepărtează de centru. Aceste inele sunt denumite difracție Fresnel, după savantul francez din secolul al XIX-lea Augustin Fresnel, care le-a descoperit.



Difrakție Fresnel

Fresnel și-a mai dat seama că, modificând diafragma, pot fi modificate fazele care trec prin ea, schimbându-se astfel tiparul rezultat. El a folosit aceste observații pentru a realiza un nou tip de lentile care permiteau doar undelor în fază să treacă. O modalitate de a face acest lucru ar fi să se decupeze o serie de inele care să se potrivească perfect pozițiilor minimele undelor, când acestea trec prin diafragmă, astfel încât doar maximele să treacă, aproape fără nici o interferență. Ca o alternativă, minimele pot fi deviate cu o jumătate de lungime de undă și apoi transmise prin diafragmă, astfel încât să fie în fază cu undele neblocați.

Inserând inele din sticlă mai groasă în pozițiile potrivite, se poate încetini lumina dintr-o anumită fază, în măsura dorită pentru a modifica lungimea de undă.

Fresnel a fabricat, folosind acest concept, lentile pentru faruri. Pe prima dintre acestea a instalat-o în Franța, în 1822. Imaginați-vă cum era să se producă lentile de mărimea necesară pentru un far de 20 de metri. Alternativa lui Fresnel consta dintr-o serie de inele de sticlă mari, dar destul de subțiri, fiecare dintre ele cântărind doar o fracțiune din greutatea unei singure lentile convexe. Lentilele lui Fresnel sunt folosite pentru a focaliza farurile mașinilor și sunt, uneori, montate pe fereastra din spate a mașinilor, ca niște panouri subțiri, transparente, din plastic, pentru a ajuta retrovizivarea.

Experimentul cu fantă dublă al lui Young

În celebrul său experiment din 1801, Thomas Young a părut să demonstreze în mod convingător că lumina este o undă. Când a făcut ca lumina să se difracteze prin două fante, el a observat nu doar o suprapunere a două profiluri de difracție, ci și frânge suplimentare, datorate interferenței razelor de lumină care trecuseră printr-una sau alta din fante. Razele interferau din nou pentru a produce benzi luminoase și întinse, dar cu o distanță între ele care corespunde valorii inverse a distanței dintre fante. Așadar, a apărut un tipar comun de benzi fine peste tiparul de difracție original de benzi largi, generat de o singură fantă. Cu cât sunt adăugate mai multe fante paralele, cu atât mai ocupat devine acest al doilea tipar de interferență.

Grilele Fraunhofer a extins studiul interferenței realizând prima grilă de difracție. O grilă are o serie întreagă de diafragme, cum ar fi multe șiruri de fante paralele. Fraunhofer a făcut o grilă din sârme aliniate. Grilele de difracție nu doar împrăștiu lumina – având multe fante, ele adaugă noi caracteristici de interferență luminii transmise.

Deoarece lumina se difractează și interferează, se comportă, în unele cazuri, ca și cum ar fi undă. Dar nu se întâmplă tot timpul așa. Einstein și alții au arătat că, uneori, dacă priviți în direcția potrivită, lumina se comportă nu doar ca o undă, ci și ca o particulă. Mecanica cuantică a apărut din această observație. În mod uimitor, așa cum vom vedea mai târziu, în versiunea cuantică a experimentului cu fantă dublă, lumina știe dacă să se comporte ca o undă sau ca o particulă și își schimbă caracteristicile doar pentru că noi o privim.

Idee de bază unde luminoase care interferează

19 Efectu Doppler

Toți am auzit cum scade tonalitatea sirenei unei ambulante, când trece în viteză pe lângă noi. Undele emise de o sursă care se mișcă spre noi ajung suprapuse și, de aceea, par să aibă o frecvență mai mare. În mod similar, undele se împrăstie și, prin urmare, le ia mai mult timp să ajungă la noi dintr-o sursă care se îndepărtează, rezultând astfel o scădere a frecvenței. Acesta este efectul Doppler. Este folosit pentru a măsura viteza mașinilor, fluxul de sânge și mișcarea stelelor și a galaxiilor din univers.

Când o ambulanță trece în viteză pe lângă voi, pe stradă, sunetul sirenei își schimbă tonalitatea, de la înaltă când se apropie de voi la joasă când se îndepărtează. Această schimbare de tonalitate este efectul Doppler, formulat de matematicianul și astronomul austriac Christian Doppler, în 1842. Acest efect apare din cauza mișcării vehiculului emițător în raport cu voi, observatorul. Când vehiculul se apropie, undele sonore pe care le emite se acumulează, distanța dintre fronturile de unde se micșorează, iar sunetul devine mai înalt.



Când vehiculul se îndepărtează, fronturilor de undă le ia mai mult să ajungă la voi, intervalele dintre ele sunt mai mari, iar tonalitatea scade. Undele sonore sunt pulsuri de aer comprimat.

Spre și dinspre Imaginați-vă că o persoană de pe o platformă sau un tren în mișcare aruncă spre voi mingi, continuu, cu o frecvență de o minge la

CRONOLOGIE

1842 d.Hr.

Doppler își prezintă lucrarea despre schimbarea culorii luminii stelelor.

1912

Vesto Slipher măsoară deplasarea spre roșu a galaxiilor.

Christian Doppler 1803-1853

Christian Doppler s-a născut într-o familie din tărâșton de pînă din Salzburg, Austria. Cum era prea fragil ca să continue afacerea familiei, s-a înscris la Universitatea din Viena ca să studieze matematica, filosofia și astronomia. Înapoi de a găsi un post la Universitatea din Praga, Doppler a trebuit să lucreze ca librar și s-a gândit chiar să emigreze în America. După promovarea ca profesor, Doppler a fost suprasolicitat de activitatea didactică, iar sănătatea lui a avut de suferit. Unul dintre prieteni lui a scris: „Este greu de imaginat ce geniu prolific arăstria în acest om. Le-am scris... multor persoane care ar putea să îl ajute pe Doppler pentru știință și să nu îl lase să moară în jug. Din păcate, mă tem de ce este mai rău.” Până în urmă, Doppler a părăsit Praga și s-a mutat înapoi în Viena. În 1842, a prezentat o lucrare în care a descris schimbarea de culoare a lumii stelelor, ceea ce acum numim efectul Doppler.

Este aproape sigur că, într-un viitor nu prea îndepărtat, aceasta le va oferi astronomicilor un mijloc bine-venit de a determina mișcările și distanțele la care se află stele în legătură cu care, din cauza distanțelor imense față de noi și, în consecință, a dimensiunii mici a unghiurilor paraleactice, până astăzi nu s-a sperat că se pot face astfel de măsurători și de determinări.

Considerat un vizionar, el a provocat reacții amestecate în rândul savanților de renume. Distructori lui Doppler i-au pus la îndoială abilitatea matematică, în timp ce prieteni i-au elogiat creativitatea și intuiția științifică.

fiecare trei secunde, interval măsurat cu cronometrul de la ceasul de mână al acelei persoane. Dacă acea persoană se mișcă spre voi, mingiilor le va lua mai puțin de trei secunde să ajungă la voi, deoarece sunt lansate din ce în ce mai aproape. Prin urmare, ritmul i se va părea mai mare celui sau celei care prinde mingile. La fel, când platforma se îndepărtează, mingiilor le va lua

1992

Prima detectare a unei planete din afara sistemului solar, prin metoda Doppler

**” POATE CĂ, ATUNCI
CÂND OAMENII DE
PE ALTE PLANETE
RECEPȚIONEAZĂ
LUNGIMILE NOASTRE
DE UNDA, TOT CEEA
CE AUD ESTE UN TÎPĂT
CONTINUU. “**

Iris Murdoch, 1919-1999

mai mult timp să ajungă la voi, ele parcurgând o distanță mai mare la fiecare aruncare, deci frecvența cu care sosesc este mai mică. Dacă ați măsura această schimbare de ritm cu propriul cronometru, ați putea deduce viteza platformei pe care se află aruncătorul. Efectul Doppler apare în cazul oricăror obiecte care se mișcă unul în raport cu altul. Ar fi același lucru dacă ați fi în trenul în mișcare, iar persoana care aruncă mingile ar sta pe loc. Ca modalitate de măsurare a vitezei, efectul Doppler are numeroase aplicații. Este folosit în medicină pentru măsurarea fluxului de sânge și, de asemenea, la radarele de pe marginea șoselei, care îl prind pe șoferii vitezomani.

Mișcare în spațiu Efecte Doppler apar deseori și în astronomie, producându-se oriunde există materii în mișcare. De exemplu, lumina venind de la o planetă care orbitează o stea îndepărtată va avea modificări Doppler. Când planeta se mișcă spre noi, frecvența crește, iar când se îndepărtează de noi, frecvența luminii ei scade. Lumina planetei care se apropie este descrisă ca „deplasându-se spre albastru”, iar, când planeta se îndepărtează, lumina „se deplasează spre roșu”. Sute de planete au fost observate în jurul stelelor

Planete extrasolare

Au fost descoperite peste 200 de planete care orbitează alte stele decât Soarele. Multe sunt gigante de gaz, în fel ca Jupiter, dar orbitând mult mai aproape de steaua lor centrală. Au fost descoperite, însă, și câteva planete telurice, similare Pământului ca mărime. Aproximativ una din zece stele are planete, iar acest lucru a născut speculațiile că unele ar putea chiar adăposti forme de viață.

Majoritatea planetelor au fost descoperite observând atracția gravitațională dintre ele și steaua lor gazdă. Planetele sunt mici comparativ cu stelele în jurul cărora orbitează, așa că este dificil să le vedem în strălucirea stelelor. Dar masa planetei mișcă

puțin steaua, iar această smucitură poate fi vizuată ca o modificare Doppler a frecvenței spectrului luminii stelei.

Prima planetă extrasolară a fost descoperită în jurul unui pulsar, în 1992, și în jurul unei stele obișnuite, în 1995. Detectarea lor a devenit acum o rutină, dar astronomii caută încă sisteme planetare asemănătoare celui al lui și încearcă să își dea seama cum erau noastre diferite configurații planetare. Cu ajutorul noilor observatoare spațiale, cu telescopul european COROT, inaugurat în 2006, și observatorului Kepler al NASA (din 2008), se speră că se vor descoperi multe planete: ca Pământul, în viitorul apropiat.

îndepărtate, începând din anul 1990, prin descoperirea acestui tipar în strălucirea stelei centrale.

Deplasările spre roșu pot apărea nu doar din cauza mișcărilor orbitale a planetelor, ci și din expansiunea universului, caz în care fenomenul este denumit deplasare cosmică spre roșu. Dacă spațiul dintre noi și o galaxie îndepărtată se mărește constant pe măsură ce universul se extinde, fenomenul este echivalent cu îndepărtarea de noi a galaxiei, cu aceeași viteză. La fel, două puncte de pe un balon care este umflat par să se îndepărteze unul de celălalt.

În consecință, lumina galaxiilor se deplasează spre frecvențe mai joase, deoarece undele trebuie să călătorească din ce în ce mai departe ca să ajungă la noi. Altfel spus, galaxiile foarte îndepărtate arată mai roșii decât cele mai în apropiate. Strict astronomie vorbind, deplasarea cosmică spre roșu nu este un efect Doppler în adevăratul sens al cuvântului, deoarece galaxia care se îndepărtează nu se mișcă, de fapt, în raport cu orice alt obiect din apropierea ei. Galaxia stă în cadrul ei de referință, iar spațiul este, de fapt, cel care se extinde.

Doppler și-a dat seama că efectul care îi poartă numele le-ar putea fi util astronomilor, dar nici el nu ar fi putut să prevadă tot ce va decurge de aici. El a afirmat că l-a observat în culorile luminii stelelor gemene, dar această afirmație este contestată astăzi. Doppler era un savant cu multă imaginație și creativ, dar uneori entuziasmul depășea măiestria lui de experimentator. Decenii mai târziu, însă, astronomul Vesto Slipher a măsurat deplasarea spre roșu a galaxiilor, punând bazele teoriei Big Bang a formării universului. Iar acum efectul Doppler poate ajuta la descoperirea unor lumi în jurul stelelor îndepărtate, care s-ar putea dovedi că adăpostesc viață.

Idee de bază
nota perfectă

20 Legea lui Ohm

De ce sunteți în siguranță atunci când zburați cu avionul printr-o furtună?
Cum salvează paratrâznetul o clădire? De ce becurile din casă nu își micșorează
strălucirea atunci când aprindem alt bec? Legea lui Ohm răspunde la aceste întrebări.

Electricitatea apare din mișcarea sarcinilor electrice. Sarcina electrică este o proprietate fundamentală a particulelor subatomice, care dictează modul în care acestea interacționează cu câmpurile electromagnetice. Aceste câmpuri creează forțe care mișcă particulele încărcate electric. Sarcina electrică, la fel ca energia, se conservă în ansamblu: nu poate fi creată sau distrusă, dar se poate deplasa dintr-o parte în alta.

Sarcina electrică poate fi o proprietate pozitivă sau negativă. Particulele cu sarcină electrică opusă se atrag unele pe altele; cele cu aceeași sarcină electrică se resping. Electronii au o sarcină electrică negativă (măsurată de Robert Millikan în 1909), iar protonii au sarcină electrică pozitivă. Nu toate particulele subatomice au, însă, încărcătură electrică. Neutronii, așa cum sugerează numele, nu au încărcătură electrică și sunt, prin urmare, „neutri”.

Electricitate statică Electricitatea poate rămâne statică, sub forma unei distribuții fixe a sarcinilor electrice, sau poate să curgă, sub forma curentului electric. Electricitatea statică crește când particulele încărcate electric se mișcă, astfel încât sarcini electrice opuse se acumulează în locuri diferite. Dacă frecați un pieptene de plastic de mână, de exemplu, pieptenele se încarcă electric și poate atrage alte obiecte mici cu încărcături electrice opuse, cum ar fi bucățele de hârtie.

Fulgerul se formează într-un mod similar, când, datorită fricțiunii dintre moleculele din norii de furtună, se acumulează electricitate, care este eliberată brusc.

CRONOLOGIE

1752 d.Nr.

Franklin realizează
experimentul cu fulgerul.

1826

Ohm publică legea care
îi poartă numele.

Benjamin Franklin 1706-1790

Benjamin Franklin s-a născut la Boston, SUA, fiind al cincisprezecelea și cel mai mic copil al unei fabricanti de lumânări din sau. Deși a fost îndemnat să se facă proot, Ben a ajuns să lucreze ca tipograf. Chiar și după ce Franklin a devenit celebru, el își semna, modest, scrisorile „B. Franklin, Tipograf”. Franklin a publicat *Poor Richard's Almanac*, care l-a făcut celebru prin maxime memorabile ca „Furturile și murașaria mîncă urît, după trei zile”. Franklin a fost un inventator prolific – a inventat parastrăzătorul, ochelarii cu două lentile și multe altele – dar cel mai mult a fost fascinat de

electricitate. În 1752, a realizat cel mai celebru experiment al său, extrăgând eşantion dintr-un nor de furtună cu ajutorul unei zmei în zbor. Franklin a contribuit la viața comunității în ultimii săi ani, înființând biblioteci și spitale publice și brigăzi de pompieri voluntari în Statutele Unite și militând pentru abolirea sclaviei. A devenit politician, implicându-se în relațiile diplomatice dintre Statutele Unite, Marea Britanie și Franța, în timpul și după Revoluția Americană. A fost membru al Comitetului citor Cinci, care a elaborat Declarația de Independență din 1776.

Pulgerele pot avea până la câțiva kilometri în lungime și temperaturi de zeci de mii de grade Celsius.

În mișcare Curentul electric, așa cum este folosit în locuințe, este un flux de sarcini electrice. Sărmele de metal conduc electricitatea deoarece electronii din metale nu sunt legați de un anumit nucleu atomic și pot fi puși în mișcare cu ușurință. Despre metale se spune că sunt conductori de electricitate. Electronii se mișcă printr-o sârmă de metal la fel ca apa printr-o conductă. În alte materiale, sarcinile electrice pozitive pot fi cele care se mișcă. Atunci când substanțele chimice sunt dizolvate în apă, nucleele încărcate atât negativ, cât și pozitiv (ioni) plutesc liber. Materialele conductoare, cum sunt metalele, permit sarcinilor electrice să se miște cu ușurință prin ele. Materialele care nu permit electricității să treacă prin ele, cum ar fi ceramica sau plasticul, se numesc izolatori. Cele care conduc electricitate doar în anumite condiții se numesc semiconductori.

Ca și gravitația, un curent electric poate fi creat de un gradient, în acest caz într-un câmp electric sau într-un potențial electric. Așadar, la fel cum o modificare

1909

Millikan măsura sarcina electrică a unui electron.



În Philadelphia, în 1752, Benjamin Franklin a „extras” cu succes electricitatea dintr-un nor de furtună cu ajutorul unui zmeu.

a înălțimii (potențialul gravitațional) face ca un râu să curgă la vale, o modificare a potențialului electric între două capete ale unui material conductor face un curent de sarcini electrice să curgă prin acesta. Această „diferență de potențial”, sau tensiune, dirijează fluxul de curent electric și, de asemenea, dă energie sarcinilor electrice.

Rezistența Când lovește fulgerul, descărcarea electrică se produce foarte repede prin aerul ionizat către pământ. Astfel, se anulează diferența de potențial care l-a provocat, prin urmare, fulgerul poartă un curent electric uriaș. Acest curent uriaș, nu tensiunea, este cel care vă poate ucide în timp ce se scurge prin corpul vostru. În practică, sarcinile electrice nu se pot mișca cu viteză atât de mare prin majoritatea materialelor, deoarece întâmpină rezistență. Rezistența bremăză mărirea curentului, dissipând energia electrică sub formă de căldură. Ca să evitați să fiți uciși de un fulger, puteți sta pe un material izolator, cum ar fi un covoraș din cauciuc, care are o rezistență foarte mare. Sau vă puteți adăposti într-o cușcă din metal, deoarece fulgerul se poate scurge mai ușor prin barele de metal decât prin corpul vostru, care, fiind alcătuit în cea mai mare parte din apă, nu este un bun conductor. O astfel de construcție este denumită cușca lui Faraday, după Michael Faraday, care a realizat una în 1836. Tiparul câmpului electric generat de o cușcă Faraday – un conductor cu orificii – este de asemenea natură încât sarcina electrică circulă în exteriorul cuștii, iar interiorul este complet neutru. Cuștile lui Faraday au fost echipamente de protecție utile pentru savanți din secolul al XIX-lea, care făceau demonstrații cu fulgere artificiale. Astăzi, încă sunt folosite la protejarea echipamentului electronic și explică de ce, atunci când zburați printr-o furtună electrică

într-un avion de metal, sunteți în siguranță – chiar dacă avionul este lovit în plin de un fulger. De asemenea, sunteți în siguranță și într-o mașină din metal, atât timp cât nu parcați în apropierea unui copac.

Fulgerul

Poate că nu lovește în același loc de două ori, dar, în medie, un fulger lovește suprafața Pământului de o dată de ori în fiecare secundă sau de 6,8 milioane de ori pe zi. Doar în Statele Unite, până în 20 de milioane de fulgere lovește solul în fiecare an, în 100 000 de furtuni.

Paratrâznetul lui Benjamin Franklin funcționează într-un mod similar, asigurând fulgerului o cale cu o rezistență mică, pentru ca acesta să nu își descarce energia în clădirea cu rezistență mare pe care o lovește. Sărmele ascuțite la capăt sunt cele mai bune, deoarece comprimă câmpul electric în vârful lor, mărind

probabilitatea ca electricitatea să fie canalizată prin ele spre pământ. Copaci înalți concentrează câmpul electric, așa că nu este o idee bună să vă adăpostiți sub unul în timpul unei furtuni.

Circuite Fluxurile electrice urmează bucle numite circuite. Mișcarea curentului și a energiei prin circuite poate fi descrisă în același mod în care este descrisă curgerea apei printr-o serie de conducte. Intensitatea curentului este similară vitezei fluxului, tensiunea este similară presiunii apei, iar rezistența este echivalentă cu lărgimea conductei sau cu obstrucționările din aceasta.

Georg Ohm a publicat, în 1826, una dintre cele mai utile legi pentru descrierea circuitelor. Algebric, legea lui Ohm este scrisă $V = IR$ și arată că tensiunea (V) este egală cu produsul dintre intensitatea curentului (I) și rezistență (R). Tensiunea este direct proporțională cu intensitatea curentului și cu rezistența. Dacă dublați tensiunea printr-un circuit, atunci dublați și intensitatea curentului care trece prin acesta, în cazul în care rezistența rămâne neschimbată; pentru a menține aceeași intensitate a curentului, aveți nevoie de o rezistență de două ori mai mare. Intensitatea curentului și rezistența sunt invers proporționale: creșterea rezistenței încetinește curentul. Legea lui Ohm se aplică chiar și circuitelor complexe, cu multe bucle. Cel mai simplu circuit poate fi imaginat ca un bec cu incandescență conectat cu sârmă la o baterie. Bateria furnizează diferența de tensiune necesară pentru a conduce curentul prin sârmă, iar filamentul din tungsten al becului generează o rezistență, transformând energia electrică în lumină și în căldură. Ce s-ar întâmpla dacă ați introduce în circuit un al doilea bec? Potrivit legii lui Ohm, dacă becurile ar fi puse unul lângă altul, ați dubla rezistența și tensiunea prin fiecare din ele, iar energia disponibilă ar trebui să se împartă, ambele becuri fiind mai puțin luminoase.

Conectând, însă, al doilea bec printr-o altă buclă, legată de prima, fiecare bec poate primi întreaga diferență de potențial. Curentul se desparte în punctul de unire a celor două bucle și trece prin fiecare bec separat, înainte de a se reuni, astfel încât al doilea bec strălucește la fel de tare ca și primul. Acest tip de circuit este circuit „în paralel”. Primul se numește circuit „în serie”. Legea lui Ohm poate fi aplicată la orice circuit, pentru a calcula tensiunea și curentul din orice punct al acestuia.

Idee de bază teoria circuitului

21 Regulă mînii drepte a lui Fleming

Când ați mers cu bicicleta noaptea, ați folosit, poate, un dinam ca să alimentați farurile. O bară ondulată este răsucită pe cauciucul unei roți, creând suficientă tensiune ca să alimenteze două becuri. Cu cât pedalați mai repede, cu atât lumina strălucește mai tare. Dispozitivul funcționează deoarece un curent electric este indus în dinam – iar direcția fluxului de curent este dată de memorabila regulă a mînii drepte a lui Fleming.

Inducția electromagnetică poate fi folosită pentru a trece de la diferite forme de câmpuri electrice și magnetice la altele. Este folosită în transformatoarele care controlează transmiterea energiei prin rețelele electrice la adaptoarele de volaj pentru prize și la dinamurile bicicletelor. Când un câmp magnetic variabil trece peste o spîrlă de sîrmă, generează o forță asupra sarcinilor electrice din sîrmă care le face să se miște, producînd astfel curent electric.

**” INSUȘI FARADAY ȘI-A
NUMIT DESCOPERIREA
MAGNETIZAREA LUMII
ȘI ILUMINAREA
LINIILOR MAGNETICE
DE FORȚĂ. ”**

Pietrî Zeeman, 1903

Ascunse într-o cutiută de metal din dinam sunt un magnet și o spîrlă din sîrmă. Bara care se învîrte pe roată induce un câmp magnetic pe spîrla din sîrmă. Deoarece magnetul care se rotește produce un câmp magnetic variabil, sarcinile electrice (electronii) din sîrmă sunt puse în mișcare pentru a crea curent electric. Se spune că acest curent este indus în spîrla de sîrmă prin fenomenul de inducție electromagnetică.

Regula degetului mare Direcția curentului indus este dată de regula mînii drepte a lui Fleming, numită astfel după inginerul scoțian John Ambrose Fleming. Întindeți mîna dreaptă și îndreptați degetul mare în sus, arătătorul drept înainte

CRONOLOGIE

1745 d.Nr.

Este inventat condensatorul electric din sticlă denumit „borcan Leyden”.

1820

Oresto face legătura între electricitate și magnetism.

și degetul mijlociu spre stânga, în unghi drept față de arătător. Dacă avem un conductor care se mișcă în sus, de-a lungul degetului mare, și un câmp magnetic orientat de-a lungul arătătorului, va fi indus un curent în direcția degetului mijlociu. Toate trei în unghiuri drepte unele față de altele. Această regulă este ușor de memorat.



Curentul indus poate fi amplificat prin înfășurarea mai strânsă a spiralelor, astfel încât câmpul magnetic să își schimbe direcția de mai multe ori de-a lungul sârmei, mai puternic atunci când pedalați mai repede. Nu contează dacă se mișcă magnetul sau spirala de sârmă, atât timp cât aceste două componente sunt în mișcare relativă una față de cealaltă.

Relația dintre câmpul magnetic variabil și forța pe care o induce este exprimată de legea lui Faraday. Forța indusă, numită forță electromotoare (deoseori abreviată emf), este dată de numărul de bucle ale spiralei, înmulțit cu rata de variație a fluxului magnetic (care crește odată cu intensitatea câmpului magnetic și cu suprafața spiralei). Direcția curentului indus este totdeauna opusă forței care l-a generat (această regulă este cunoscută sub numele de legea lui Lenz). Dacă nu ar fi așa, atunci întregul sistem s-ar autoamplifica și ar încălca legea conservării energiei.

Faraday Inducția electromagnetică a fost descoperită în anul 1830 de Michael Faraday. Fizician britanic, Faraday era celebru pentru experimentele lui cu electricitatea. El a arătat nu doar că magnetii se rotesc atunci când plutesc pe un pat de mercur, descoperind astfel principiul care stă la baza motorului electric, ci a și demonstrat că lumina este influențată de câmpurile magnetice. Rotind planul luminii polarizate cu ajutorul unui magnet, el a dedus că lumina în sine ar fi electromagnetică.

1831

Faraday descoperă inducția electromagnetică.

1873

Maxwell publică ecuațiile electromagnetismului.

1892

Fleming prezintă teoria transformatorului.

Michael Faraday 1791-1867

Michael Faraday a fost un autodidact care a învățat citind cărțile aduse la o legătorie, unde era ucenic. Târziu fiind, Faraday a fost la patru conferințe susținute de chimistul Humphry Davy la Institutul Regal din Londra și a fost atât de impresionat, încât i-a scris lui Davy rugându-l să îl angajeze. După ce a fost respins inițial, Faraday a început să-și petreacă cea mai mare parte din timp ajutându-l pe alții de la Institutul Regal, dar lucrând și la motora electrică. În 1826, a inaugurat conferințele de vinuri sabbath și de Crăciun de la Institutul Regal, tradiții care continuă și astăzi. Faraday a făcut

numeroase cercetări în domeniul electricității, descoperind inducția electromagnetică în 1831. A fost recunoscut ca un foarte înzestrat experimentator și a fost numit în mai multe funcții oficiale, inclusiv cea de consilier științific la Trinity House, calitatea în care a contribuit la electrificarea farurilor. Surprinsător, Faraday a respins propunerile de a i se acorda titlul de cavaler și funcția de președinte al Societății Regale (nu a dată, ci de domănie). Faraday și-a petrecut ultimele zile la Hampton Court, într-o casă dăruită de prințul Albert, în semn de recunoaștere a importante sale contribuții la evoluția științei.

Până la Faraday, savanții credeau că există mai multe tipuri de electricitate, care se manifestă în diferite situații. Faraday a fost cel care a arătat că toate aceste tipuri pot fi descrise după un același cadru de referință, pe baza mișcării sarcinilor electrice. Faraday nu era matematician și chiar fusese etichetat drept „analfabet în matematică”, dar ideile sale au fost preluate de Clerk Maxwell, un alt fizician britanic, care le-a concentrat în cele patru ecuații faimoase ale sale, rămase și astăzi fundamente ale fizicii moderne (vezi p. 88).

**” NIMIC NU ESTE
PREA MINUNAT CA SĂ
FIE ADEVĂRAT DACĂ
RESPECTĂ LEGILE
NATURII. “**

Michael Faraday, 1849

Încărcătură depozitată Numele lui Faraday este dat astăzi unei unități de sarcină electrică, Farad, asociată cu capacitatea condensatoarelor. Condensatoarele sunt componente electronice care stochează temporar sarcină electrică, fiind extrem de răspândite în circuite. De exemplu, blitzul unui aparat de fotografie de unică folosință stochează sarcină electrică folosind

un condensator (în timp ce așteptați ca blitzul să se declanșeze); când apăsați pe butonul aparatului, blitzul eliberează încărcătura electrică pentru a produce flashul, în momentul în care este făcută fotografia. Folosind chiar și o baterie normală, tensiunea care se acumulează poate fi mare, de sute de volți, și vă poate provoca un șoc electric extrem de neplăcut, dacă atingeți condensatorul.

Cel mai simplu condensator dublu constă în două plăci de metal paralele și separate, cu aer între ele. Dar condensatoarele pot fi alcătuite din sandwichuri de aproape

orice materiale, atât timp cât „pâinea” conduce sau păstrează sarcină electrică, iar „umplutura” nu. Cele mai vechi dispozitive pentru stocarea încărcăturii electrice datează din secolul al XVIII-lea și se numesc „bucane Leyden”, vase din sticlă a căror suprafață interioară a fost îmbrăcată în metal. Astăzi, aceste straturi de sandvici sunt făcute din materiale ca folie de aluminiu, niobiu, hârtie, poliester și teflon. Dacă un condensator este conectat la o baterie, când bateria este pornită, sarcinile electrice opuse se acumulează pe fiecare placă. Atunci când bateria este oprită, sarcinile electrice sunt eliberate sub formă de curent electric. Fluxul de curent scade, deoarece „presiunea” lui scade pe măsură ce diferența de potențial se reduce. Cum este nevoie de timp pentru a încărca și a descărca un condensator, acestea pot întârzia considerabil fluxul de sarcină electrică în circuite. Condensatoarele sunt folosite deseori împreună cu inductori (cum ar fi spirale de sârmă care pot adăuga curent indus), pentru a realiza circuite în care încărcătura electrică oscilează dintr-o parte în alta.

Transformatoare Inducția electromagnetică nu este folosită doar la dinamuri și motoare, ci și în transformatoarele electrice. Un transformator funcționează generând mai întâi un câmp magnetic variabil, iar apoi folosind acel câmp pentru a induce un al doilea curent electric într-o spirală de sârmă din apropiere]. Un transformator simplu constă dintr-un inel magnetic, cu două spirale de sârmă separate înfășurate în jurul lui. Un câmp electric variabil este introdus în prima spirală, generând un câmp magnetic variabil în magnet. Acest câmp magnetic variabil induce, apoi, un nou curent electric în a doua spirală de sârmă.

Potrivit legii lui Faraday, mărimea curentului indus depinde de numărul de bucle din spirală, astfel încât transformatorul poate fi proiectat ca să regleze mărimea curentului generat. Când este trimisă electricitate printr-o rețea națională, este mai eficient și mai sigur ca aceasta să fie trimisă ca electricitate cu intensitate mică și tensiune ridicată. Transformatoare sunt folosite la ambele capete ale rețelei, mărin­ d tensiunea pentru a micșora curentul, la distribuție, și micșorând tensiunea la capătul din locuință al rețelei. După cum știți, dacă ați atins acumulatorul unui computer sau un adaptor de volaj, transformatoarele nu sunt sută la sută eficiente, deoarece se încălzesc și, uneori, fac și zgomot, pierzând energie prin sunet, vibrație și căldură.

Idee de bază legile inducției

22 Ecuatiile lui Maxwell

Cele patru ecuații ale lui Maxwell reprezintă pietre de temelie ale fizicii moderne și unul dintre cele mai importante progrese de la teoria gravitației universale. Ele arată cum câmpurile electrice și magnetice sunt două fațete ale aceluiași monede. Ambele tipuri de câmpuri sunt manifestări ale aceluiași fenomen – unda electromagnetică.

Experimentatorii de la începutul secolului al XIX-lea au observat că electricitatea și magnetismul pot fi transformate din una în cealaltă. Dar James Clerk Maxwell a făcut una dintre cele mai mari descoperiri ale fizicii moderne, reușind să descrie câmpul electromagnetic în ansamblu în doar patru ecuații.

Unde electromagnetice Forțele electrice și magnetice acționează asupra particulelor încărcate electric și a magnetilor. Câmpurile electrice variabile generează câmpuri magnetice și invers. Maxwell a explicat cum apar ambele din același fenomen, o undă electromagnetică, având atât caracteristici electrice, cât și magnetice. Undele electromagnetice conțin un câmp electric variabil, însoțit de un câmp magnetic care variază similar, dar este poziționat în unghi drept față de celălalt.

Maxwell a măsurat viteza undelor electromagnetice care trec prin vid, arătând că aceasta este, în esență, aceeași cu viteza luminii. Alături de descoperirile lui Hans Christian Ørsted și ale lui Faraday, acest lucru a confirmat faptul că lumina este, de asemenea, o perturbare electromagnetică în mișcare. Maxwell a demonstrat că undele luminoase și toate undele electromagnetice călătoresc în vid cu o viteză constantă, 300 de milioane de metri pe secundă. Această viteză este determinată de proprietățile electrice și magnetice absolute ale spațiului liber.

CRONOLOGIE

1600 d.Hr.	1752	1820
William Gilbert cercetează electricitatea și magnetismul.	Benjamin Franklin face experimente cu fulgere.	Ørsted face legătura între electricitate și magnetism.

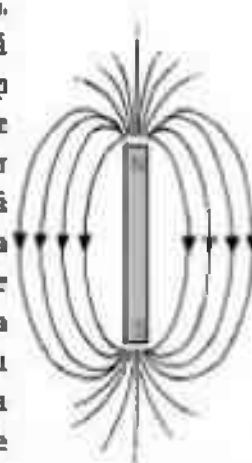
Undele electromagnetice pot avea o varietate de lungimi de undă și pot acoperi un întreg spectru dincolo de lumina vizibilă. Undele radio au cele mai mari lungimi de undă (metri sau chiar kilometri), lumina vizibilă are lungimi de undă care sunt similare distanței dintre atomi, iar la cele mai înalte frecvențe sunt razele X și gamma. Undele electromagnetice sunt folosite mai ales pentru comunicații, prin transmiterea de unde radio și de semnale de televiziune și de telefoane mobile. Ele pot furniza căldură, ca în cazul cuptoarelor cu microunde, și sunt folosite deseori ca sonde de cercetare (de exemplu, razele X folosite în medicină și pentru microscopul electronic).

Forța electromagnetică exercitată de câmpurile electromagnetice este una dintre cele patru forțe fundamentale, alături de gravitație și de forțele nucleare puternice și slabe, care țin laolaltă atomii și nucleele. Forțele electromagnetice sunt esențiale în chimie, legând ioni încărcati electric, pentru a forma compuși chimici și molecule.

Câmpuri Maxwell a început prin a încerca să înțeleagă lucrările lui Faraday, care descriau experimental câmpurile electrice și magnetice. Câmpurile, în fizică, sunt calea prin care forțele sunt transmise la distanță. Gravitația acționează chiar și la imensele distanțe din spațiu, unde se spune că produce un câmp gravitațional. La fel, câmpurile electrice și magnetice pot afecta particule încărcate aflate destul de departe. Dacă v-ați jucat vreodată cu pulitură de fier împrăștiată pe o hârtie și cu un magnet dedesubt, ați văzut că forța magnetică face particulele de fier să se miște și să se așeze în curbe care se întind de la polul nord la polul sud al magnetului. Forța magnetului scade pe măsură ce îndepărtați de el foaia de hârtie. Faraday desenase aceste „linii de câmp” și a dedus reguli simple. El a desenat, de asemenea, linii de câmp similare pentru particule încărcate electric, dar nu era matematician de formație. Așa că l-a revenit lui Maxwell misiunea de a încerca să unifice aceste idei într-o teorie matematică.

”CU GREU PUTEM
EVITA CONCLUZIA CĂ
LUMINA CONSTĂ DIN
ONDUȚII TRANSVERSE
ALE ACELUIAȘI MEDIU,
CARE ESTE CAUZA
FENOMENELOR ELECTRICE
ȘI MAGNETICE.”

James Clerk Maxwell, cca 1867



1831

Faraday descoperă
inducția
electromagnetică.

1873

Maxwell publică ecuațiile
electromagnetismului.

1905

Einstein publică teoria
relativității restrânse.

Patru ecuații Spre surprinderea savanților, Maxwell a reușit să descrie toate fenomenele electromagnetice în doar patru ecuații fundamentale. Aceste ecuații sunt atât de cunoscute astăzi încât au ajuns să fie scrise pe tricouri, alături de comentariul „și Dumnezeu a făcut lumina”. Deși acum considerăm electromagnetismul unul și același lucru, pe atunci această idee era revoluționară și la fel de importantă dacă am unifica, astăzi, fizica cuantică și gravitația.

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + (\partial \mathbf{D} / \partial t)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -(\partial \mathbf{B} / \partial t)$$

Ecuațiile lui Maxwell

Prima dintre ecuațiile lui Maxwell este legea lui Gauss, numită astfel după fizicianul din secolul al XIX-lea Carl Friedrich Gauss, care a descris forma și intensitatea câmpului electric generat de un obiect încărcat electric. Legea lui Gauss este o lege a inversului pătratului distanței, similară matematic cu legea gravitației a lui Newton. Ca și gravitația, câmpul electric scade pornind de la suprafața unui obiect încărcat electric, proporțional cu pătratul distanței. Prin urmare, câmpul este de patru ori mai slab dacă mergeți de două ori mai departe de sursa lui.

Deși nu există dovezi științifice că semnalele de telefonie mobilă dăunează sănătății, legea inversului pătratului distanței explică de ce ar fi mai sigur să aveți un releu de telefonie mobilă mai aproape de casa voastră decât mai departe. Câmpul generat de releu scade rapid odată cu distanța, prin urmare, este foarte slab când ajunge la voi. Prin comparație, câmpul telefonului mobil este puternic, pentru că acesta este ținut aproape de capul vostru. Așadar, cu cât este mai aproape releul, cu atât mai puțină energie folosește telefonul mobil, potențial mai periculos, atunci când vorbiți la el. Cu toate acestea, oamenii se comportă deseori irațional și se tem mai mult de releu.

James Clerk Maxwell 1831-1879

James Clerk Maxwell s-a născut în Edinburgh, în Scoția. A crescut în țară, mediu care l-a făcut curios în legătură cu lumea naturală. După ce mama lui a murit, a fost trimis la școală, unde a fost poreclit „aiurea”, pentru că era foarte absorbit de studiile lui. Ca student la Universitatea din Edinburgh și apoi la Cambridge, Maxwell era considerat inteligent, dar dezorganizat. După absolvire, a extins cercetările lui Faraday în legătură cu electricitatea și magnetismul și s-a

condamnat în scrisori. Când boala lui s-a îmbolnăvit, Maxwell s-a mutat înapoi în Scoția și a încercat să obțină din nou un post la Edinburgh. Pierzând în fața mentorului său, a mers la Kings College din Londra, unde și-a desăvârșit cele mai cunoscute lucrări. În jurul anului 1862, a conceput că viteza undelor electromagnetice și cea a luminii erau aceleași, iar 11 ani mai târziu a publicat cele patru ecuații ale electromagnetismului.

A doua ecuație a lui Maxwell descrie forma și intensitatea câmpului magnetic, sau tiparul liniilor câmpului magnetic în jurul unui magnet. Legea arată că liniile de câmp sunt totdeauna bucle închise, de la polul nord la polul sud. Cu alte cuvinte, toți magnetii trebuie să aibă și pol nord, și pol sud - nu există magneti cu un singur pol, iar un câmp magnetic are totdeauna un început și un sfârșit. Acest lucru este o consecință a teoriei atomice, potrivit căreia chiar și atomii au câmpuri magnetice, iar magnetismul la scară mare este generat dacă aceste câmpuri sunt aliniate. Dacă tăiați o bară magnetică în două, veți reproduce totdeauna polul nord și polul sud în fiecare jumătate. Nu contează cât de mult divizați magnetul; cea mai mică așchie va avea ambii poli.

**” ORICE NEBUN
INTELIGENT POATE FACE
LUCRURILE MAI MARI
ȘI MAI COMPLEXE... E
NEVOIE DE O SCLIPIRE
DE GENIU - ȘI DE MULT
CURAJ PENTRU A MERGE
ÎN DIRECȚIA OPUSĂ. “**

citat atribuit lui
Albert Einstein, 1879-1955

A treia și a patra ecuație sunt similare și descriu inducția electromagnetică. A treia ecuație arată cum curenții variabili produc câmpuri magnetice, iar a patra - cum câmpurile magnetice variabile produc curenți electrice. A treia lege este cunoscută și ca legea inducției a lui Faraday.

Descrierea atâtor fenomene în câteva ecuații atât de simple a fost o descoperire atât de importantă încât l-a făcut pe Einstein să pună realizarea lui Maxwell pe aceeași treaptă cu cea a lui Newton. Einstein a preluat ideile lui Maxwell și le-a încorporat apoi în teoriile sale ale relativității. În ecuațiile lui Einstein, magnetismul și electricitatea sunt manifestări ale aceluiasi fenomen, văzut în diferite cadre de referință; un câmp electric într-un cadru în mișcare va fi văzut ca un câmp magnetic în alt cadru. Poate că a fost Einstein cel care, până la urmă, a tras concluzia că, de fapt, câmpurile electrice și magnetice sunt unul și același lucru.

Încercând să combine
electromagnetismul
și teoria cuantelor, în
anul 1930, fizicianul
britanic Paul Dirac a
afirmat că pot exista
magnetii cu un singur
pol. Misiuni de a putea
confirma, până acum,
această ipoteză.

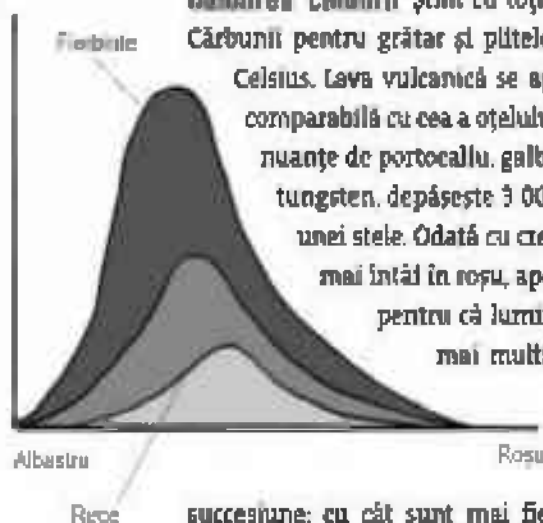
**Idee de bază
... și s-a făcut lumină.**

23 Legea lui Planck

De ce spunem că locul este roșu aprins? Și de ce oțelul, când este încălzit, începe să strălucească mai întâi în roșu, apoi în galben, iar apoi în alb? Max Planck a descris aceste schimbări de culori combinând fizica luminii și a căldurii. Descriind lumina ca o medie statistică, nu ca o undă continuă, ideea revoluționară a lui Planck a pus bazele fizicii cuantice.

Intr-un discurs celebru din 1963, prim-ministrul britanic Harold Wilson se minuna de „căldura albă a acestei revoluții (tehnologice)”. Dar de unde vine această expresie, „căldură albă”?

Căldura căldurii Știm cu toții că multe obiecte strălucesc când sunt incinse. Cărbunii pentru grătar și plătele electrice se fac roșii, atingând sute de grade Celsius. Lava vulcanică se apropie de o mie de grade Celsius (temperatură comparabilă cu cea a oțelului topit) și poate străluci mai puternic – uneori în nuanțe de portocaliu, galben sau chiar alb intens. Un filament de bec, din tungsten, depășește 3 000 de grade Celsius, temperatura de la suprafața unei stele. Odată cu creșterea temperaturii, obiectele incinse strălucesc mai întâi în roșu, apoi în galben și, în final, în alb. Lumina pare albă pentru că luminii existente, roșie și galbenă, i-a fost adăugată mai multă lumină albastră. Această evoluție a culorilor este denumită curba corpului negru.



Stelele urmează, de asemenea, această succesiune: cu cât sunt mai fierbinți, cu atât arată mai albastre. Soarele, la 600 de grade Kelvin, este galben, în timp ce suprafața gigantului roșu Betelgeuse (din constelația Orion) are o temperatură doar pe jumătate cât a Soarelui. Stele

CRONOLOGIE

1862 d.Hr.

Termenul „corp negru” este folosit de către Gustav Kirchhoff.

1901

Planck publică legea radiației corpului negru.

Max Planck 1858-1947

Max Planck a studiat la München, în Germania. Apsorbind la a corianh in muzică, a corut sfatul unui muzician, pe care l-a întrebat ce onume ar trebui să învețe. l-a spus, însă, că, dacă simte nevoia să pună această întrebare, ar trebui să studieze altceva. Nici profesorul lui de fizică nu l-a încurajat mai mult, spunându-i că fizica, în ansamblu, era un domeniu complet cercetat și că nu ar mai fi nimic de studiat.

De Fencire, Planck l-a ignorat și și-a continuat cercetările, lansând conceptul de cuente. Mai târziu, Planck a trecut prin suferința de a-și vedea soția și mai mulți copii murind, doi fi fiindu-i ucși în războaiele mondiale. Cu toate acestea, Planck a rămas în Germania, unde a încercat să reconstruiască studiul fizicii. Astăzi, numeroase institute prestigioase de cercetări îi poartă numele.

mai fierbinți, cum ar fi Sirius, cea mai strălucitoare de pe cer, a cărei suprafață incandescentă atinge 30 000 de grade Kelvin, pare albastră-albă. Pe măsură ce temperatura crește, este emisă tot mai multă lumină albastră. De fapt, cea mai puternică lumină a stelelor incandescente este atât de albastră încât cea mai mare parte a ei iradiază în partea ultravioletă a spectrului.

Radiația corpului negru Fizicienii secolului al XIX-lea au fost surprinși să descopere că lumina emisă atunci când obiectele erau încălzite urma același model, indiferent de substanța pe care o testau. Cea mai mare parte a luminii era emisă la o anumită frecvență. Când temperatura era mărită, maximul frecvenței se modifica spre lungimi de undă mai albastre (mai joase), trecând de la roșu, prin galben, la albastru-alb.

Termenul de radiație a corpului negru este folosit pentru un motiv întemeiat. Materialele mai închise la culoare pot radia sau absorbi căldură cel mai bine. Dacă ai purtat un tricou negru într-o zi călduroasă, știți că acesta se încălzește de la Soare mai mult decât unul alb. Albul reflectă mai bine lumina

” TEORIA CORPULUI NEGRU A FOST UN ACT DISPERAT, DE DEDARECE O INTERPRETARE TEORETICĂ TREBUIA SĂ FIE GĂSITĂ CU ORICE PREȚ, ORICÂT DE MARE. “

Max Planck, 1901

1905

Einstein identifică fotonul, iar teoria catastrofei ultraviolete este contrazisă.

1996

Datele colectate și transmise de satelitul COBE ajută la determinarea temperaturii exacte a microundelor radiației cosmice de fond.

Moștenirea lui Planck în spațiu

Cel mai perfect spectru al unui corp negru este generat din o sursă cosmică. Cereul este acoperit în strălucirea palidă a microundelor care sunt, acoul mingii de foc al exploziei inițiale, Big Bang, deplasate spre roșu datorită expansiunii universului spre frecvențe mai joase. Această strălucire este denumită radiație cosmică de fond. În anul 1990, satelitul COBE (Cosmic Background Explorer) al NASA a măsurat

temperatura acestei lumini – un spectru de corp negru de 2,73 grade Kelvin – atât de uniform încât aceasta a rămas și astăzi cea mai pură curbă de radiație a unui corp negru măsurată vreodată. Nici un material de pe Pământ nu are o temperatură atât de uniformă. Agenția Spațială Europeană l-a omagiat recent pe Planck, numind după el cel mai nou satelit. Acesta va cartografia în detaliu radiația cosmică de fond.

Soarelui, motiv pentru care casele din zonele cu climă caldă sunt deseori zugrăvite în alb.

Zăpada reflectă, de asemenea, lumina Soarelui. Climatologii se tem că Pământul se va încălzi mai repede în cazul în care calotele polare s-ar topi și ar reflecta înapoi în spațiu mai puțină lumină solară. Obiectele negre nu doar absorb, ci și eliberează căldură mai repede decât cele albe. De aceea suprafețele cuptoarelor sau plitele sunt vopsite în negru – nu doar ca să ascundă funinginea.

❏ revoluție Deși fizicienii alcătuiseră grafice ale radiației corpului negru, nu puteau să le teoretizeze sau să explice de ce frecvența atingea maximum la o singură culoare. Cercetători importanți, ca Wilhelm Wien, lordul Rayleigh și James Jeans, au descoperit soluții parțiale. Wien a descris matematic deplasarea spre albastru a frecvențelor, în timp ce Rayleigh și Jeans au explicat spectrul roșu incipient, dar ambele formule au eșuat în explicarea fenomenelor de la capetele opuse. Mai ales soluția lui Rayleigh și Jeans a ridicat probleme, deoarece prevedea că o cantitate infinită de energie va fi eliberată la lungimi de undă ultraviolete și mai mari, din cauza spectrului în creștere. Această problemă evidentă a fost numită „catastrofa ultravioletă”.

Încercând să înțeleagă radiația corpului negru, fizicianul german Max Planck a reușit fizica luminii și a căldurii. Planck era un purist al fizicii cărui îi plăcea să revină la bază pentru a deduce principii fizice. El era fascinat de conceptul entropiei și de legea a doua a termodinamicii. Le considera, alături de ecuațiile lui Maxwell, drept legi fundamentale ale naturii și și-a fixat ca obiectiv dovedirea modului în

care sunt legate. Planck avea o încredere deplină în matematică – dacă ecuațiile lui îi spuneau că ceva era adevărat, nu conta dacă toți ceilalți gândeau altfel.

Planck a aplicat un artificiu inteligent pentru a face ecuațiile să funcționeze. Ideea lui a fost să trateze radiația electromagnetică în același mod în care experții în termodinamică tratau căldura. La fel cum temperatura este împărțirea căldurii între mai multe particule, Planck a descris lumina ca distribuție a energiei între un set de oscilatori electromagnetici sau mici unități subatomice de câmp electromagnetic.

Pentru a corecta ecuațiile, Planck a stabilit legătura dintre energia fiecărei unități electromagnetice și frecvență, astfel încât $E = h\nu$, unde E este energia, ν este frecvența luminii, iar h este o constantă denumită astăzi constanta lui Planck. Aceste unități electromagnetice au fost numite „cuante”, de la cuvântul latin care înseamnă „cât”.

În noul tablou al cuantelor de energie, oscilatorii electromagnetici de frecvență înaltă preiau fiecare multă energie. Prin urmare, nu pot exista mulți într-un sistem fără ca limita de energie să fie spulberată. La fel, dacă ați primi în fiecare lună salariul în 100 de bancnote cu diferite valori, ați primi mai multe bancnote cu denuminație medie și câteva cu valoare mai mare sau mai mică. Stabilind cea mai probabilă modalitate de distribuție a energiei electromagnetice între mai mulți oscilatori, modelul lui Planck a plasat cea mai mare parte a energiei la frecvențe medii – această distribuție se potrivea cu spectrul corpului negru. În 1901, Planck și-a publicat legea, legând undele de lumină cu probabilitatea, lucru pentru care a fost elogiat. Noua sa idee rezolva problema „catastrofei ultraviolete”.

Cuantele lui Planck au fost doar un concept pentru găsirea formulei matematice a legii sale; el nu și-a imaginat nici un moment că oscilatorii săi ar fi reali. Dar, într-un moment în care fizica atomică se dezvoltă rapid, noua idee a lui Planck a avut implicații surprinzătoare. Planck a plantat sămânța care va crește pentru a deveni unul dintre cele mai importante domenii ale fizicii: teoria cuantică.

Idee de bază buget de energie

24 Efectul fotoelectric

Când lumina ultravioletă strălucește pe o placă de cupru, se produce electricitatea. Acest efect „fotoelectric” a rămas un mister până când Albert Einstein, inspirat de folosirea de către Max Planck a conceptului de cuante de energie, a avut ideea particulei de lumină, sau foton. Einstein a arătat că lumina se poate comporta și ca un flux de fotoni, și ca o undă continuă.

Inceputul secolului XX a deschis o nouă perspectivă asupra fizicii. În secolul al XIX-lea se știa că lumina ultravioletă pune în mișcare electroni pentru a produce curent electric într-un metal; explicarea acestui fenomen l-a condus pe fizicieni la inventarea unui întreg limbaj.

Lovituri albastre Efectul fotoelectric generează curent electric în metale când acestea sunt iluminate cu lumină albastră și ultravioletă, dar nu roșie. Nici măcar un fascicul strălucitor de lumină roșie nu produce curent. Sarcinile electrice se mișcă doar atunci când frecvența luminii depășește un anumit prag, care diferă în funcție de metal. Pragul indică faptul că o anumită cantitate de energie trebuie să se acumuleze înainte ca sarcinile electrice să fie dislocate. Energia care le eliberează provine de la lumină, dar, la sfârșitul secolului al XIX-lea, modul în care se întâmpla acest lucru nu era cunoscut. Undele electromagnetice și sarcinile electrice în mișcare păreau să fie fenomene fizice extrem de diferite, iar unificarea lor era o provocare.

” **ORICE ÎNTREBARE
ARE DOUĂ
SENSURI.** “

Protagoras, 485–421 î.Hr.

Fotoni În 1905, Einstein a formulat o idee radicală pentru a explica efectul fotoelectric. Această idee, mai degrabă decât teoria relativității, a fost cea care i-a adus Premiul Nobel în 1921. Inspirat de folosirea de către Max Planck a cuantelor pentru

CRONOLOGIE

1839 d.Hr.	1887	1899
Alexandre Becquerel observă efectul fotoelectric.	Hertz măsoară scântele produse de lumina ultravioletă care lovește o suprafață metalică.	J.J. Thomson confirmă că lumina incidentă generează electroni.

EFFECTOTOELECTRIC

a explica energia atomilor fierbinți. Einstein și-a imaginat că și lumina ar putea exista în mici pachete de energie. Einstein a împrumutat pe de-a întregul definiția matematică dată de Planck cuantelor, relația de proporționalitate dintre energie și frecvență, legate de constanta lui Planck, dar a aplicat-o luminii, nu atomilor. Cuantele de lumină ale lui Einstein au fost, ulterior, numite fotoni. Fotoni nu au masă și călătoresc cu viteza luminii.

În loc să scalde metalul cu unde continue de lumină, Einstein a emis ipoteza că gloanțe de fotoni lovesc electronii din metal și îi pun în mișcare, pentru a produce efectul fotoelectric. Deoarece fiecare foton poartă o anumită cantitate de energie, proporțională cu propria frecvență, energia electronului lovit este, de asemenea, proporțională cu frecvența luminii. Un foton de lumină roșie (cu frecvență scăzută) nu poate purta suficientă energie ca să disloce un electron, dar un foton de lumină albastră (lumină cu o frecvență mai mare) are mai multă energie și poate pune electronul în mișcare. Un foton de lumină ultravioletă are chiar și mai multă energie, astfel încât poate clozni un electron și îi poate da o viteză și mai mare. Creșterea strălucirii luminii nu schimbă nimic, nu contează că aveți mai mulți fotoni roșii, dacă fiecare dintre aceștia este incapabil să pună în mișcare electroni. Este ca și cum ai arunca mingi de ping-pong într-un vehicul utilitar de mare tonaj. Ideea lui Einstein legată de cuantele de lumină a fost nepopulară inițial, pentru că se opunea descrierii undelor luminoase, rezumată în ecuațiile lui Maxwell, pe care cei mai mulți fizicieni le venerau. Atmosfera s-a schimbat, însă, când experimentele au dovedit că ideea lui Einstein era adevărată. Experimentele au confirmat că energia electronilor eliberați este proporțională cu frecvența luminii.



Dualitatea undă-particulă Ipoteza lui Einstein era nu doar controversată, ci propunea și ideea incomodă că lumina era atât undă, cât și formată din particule, denumită dualitate undă-particulă. Comportamentul luminii până în momentul

1901

Planck introduce
conceptul de cuante
de energie.

1905

Einstein propune
teoria cuantelor
de lumină.

1924

De Broglie lansează ipoteza
că particulele se pot
comporta ca undele.

Albert Einstein 1879-1955

1905 a fost un an al miracolelor pentru fizicianul născut în Germania Albert Einstein, care lucra ca funcționar la Oficiul elvețian pentru brevete. Albert Einstein a publicat trei lucrări de fizică în revista germană *Annalen der Physik*. Acestea explicau mișcarea browniană, efectul fotoelectric și relativitatea restrânsă, și fiecare dintre ele era o lucrare revoluționară. Reputația lui Einstein a crescut, iar în 1915, a publicat

teoria relativității generalizate, confirmând că era unul dintre cei mai mari oameni de știință ai tuturor timpurilor. Patru ani mai târziu, observațiile făcute în timpul unei eclipse solare au confirmat teza relativității generalizate, aducându-i celebritatea mondială. În 1921, lui Einstein i s-a decernat Premiul Nobel pentru lucrarea sa cu privire la efectul fotoelectric, care a influențat dezvoltarea mecanicii cuantice.

În care Maxwell și-a formulat ecuațiile urmase totdeauna modelul unei unde, ocolind obstacole rotunde, cu difracție, reflexie și interferență. Einstein a zdruncinat această convingere, demonstrând că lumina este și un flux de proiectile de fotoni.

Fizicienii încă sunt contrariați de această problemă. Astăzi, știm chiar că lumina pare să știe dacă să se comporte ca flux de particule sau ca undă, în diferite condiții.

”STRATUL DE LA SUPRAFAȚA UNUI CORP ESTE PENETRAT DE CUANTE DE ENERGIE A CĂROR ENERGIE ESTE TRANSFORMATĂ, MACAR PARȚIAL, ÎN ENERGIE CINETICĂ A ELECTRONILOR. CEA MAI SIMPLĂ IDEE ESTE CĂ O CUANTĂ DE LUMINĂ ÎȘI TRANSFERĂ ÎNTREAGA ENERGIE UNUI SINGUR ELECTRON.”

Albert Einstein, 1905

Dacă faceți un experiment prin care să măsurați proprietățile ei ondulatorii, cum ar fi trecerea lumii printr-o rețea de difracție, se comportă ca o undă. Dacă, în schimb, încercați să măsurați proprietățile particulelor, se comportă după cum doriți.

Fizicienii au încercat să creeze experimente inteligente pentru a lua lumina prin surprindere și, poate, a-i dezvălui adevărata natură, dar, până acum, toate aceste experimente au eșuat. Multe sunt variante ale experimentului cu fantă dublă al lui Young, dar cu componente care pot fi pornite și oprite. Imaginați-vă

o sursă de lumină ale cărei raze trec prin două fante înguste și sunt proiectate pe un ecran. Cu ambele fante deschise, vedeți cunoscutele fâșii întunecate și luminoase ale franșelor de interferență. Prin urmare, lumina, după cum știm, este o undă. Totuși, dacă reducem lumina suficient de mult, la un moment dat, nivelul devine atât de scăzut încât fotonii individuali trec prin dispozitiv unul câte unul, iar un detector poate surprinde flashurile lor, când ating ecranul. În timp ce faceți acest lucru, fotonii continuă să se acumuleze în modelul de interferență cunoscut.

Așadar, cum știe un singur foton prin care din fante să treacă pentru a alcătui modelul de interferență? Dacă acționați rapid, puteți să închideți una din fante după ce fotonul a părăsit sursa de lumină sau chiar după ce a trecut prin fante, dar înainte să lovească ecranul. În fiecare caz în care fizicienii au reușit să facă acest test, fotonii au știut dacă o fantă sau două erau deschise în momentul în care au trecut. Și, chiar dacă fotonii trec unul câte unul, se pare că fiecare foton trece prin ambele fante simultan.

Dacă puneți un detector într-una din fante (astfel încât să știți dacă fotonul a trecut prin aceasta sau prin cealaltă), în mod straniu, modelul de interferență dispare – rămâne doar o aglomerație de fotoni pe ecran și nu sunt franje de interferență. Prin urmare, nu contează cum încercați să îl prindeți, fotonii știu cum să se comporte. Și se comportă și ca undă, și ca particule, nu ca una sau alta.

Unde de materie În 1924, Louis-Victor de Broglie a sugerat ideea inversă că particulele de materie se pot comporta, și ele, ca unde. El a propus ipoteza că toate corpurile au o lungime de undă asociată, implicând că dualitatea particulă-undă este universală. Trei ani mai târziu, ideea materie-undă a fost confirmată când s-a observat că electronii se difractă și interferează la fel ca lumina. Fizicienii au observat până acum și particule mai mari care se comportă ca undele, cum ar fi neutronii, protonii și, mai recent, chiar molecule, inclusiv bile microscopice din carbon. Obiectele mai mari, cum ar fi bilele de biliard, au lungimi de undă minuscule, prea mici pentru a fi văzute, astfel încât nu le putem observa comportându-se ca unde. O minge de tenis care zboară deasupra unui teren are o lungime de undă de 10^{-34} metri, mult mai mică decât diametrul unui proton (10^{-15} metri).

După ce am văzut că lumina este și particulă, iar electronii sunt uneori unde, efectul fotoelectric a fost explicat.

Celule solare

Efectul fotoelectric este folosit astăzi în panourile solare în care lumina eliberează electroni, de obicei, din materiale semiconductoare, cum ar fi siliciul, nu din metale pure.

Idee de bază
gloanțe de fotoni

25 Ecuatia undei a lui Schrödinger

Cum putem spune unde este o particulă dacă aceasta se propagă și ca o undă? Erwin Schrödinger a scris o ecuație de referință, care descrie probabilitatea ca o particulă să se afle într-un anumit loc, când se comportă ca o undă. Mergând mai departe, ecuația sa a reușit să descrie nivelurile de energie ale electronilor din atom, punând bazele chimiei moderne, dar și ale mecanicii cuantice.

Potrivit lui Einstein și lui Louis-Victor de Broglie, particulele și undele se întrepătrund strâns. Undele electromagnetice, inclusiv lumina, preiau ambele caracteristici și chiar și moleculele și particulele subatomice de materie pot difracta și interfera la fel ca undele.

Dar undele sunt continue, iar particulele nu sunt. Prin urmare, cum puteți spune unde se află o particulă, dacă aceasta se propagă sub forma unei unde? Ecuatia lui Schrödinger, descoperită de fizicianul austriac Erwin Schrödinger în 1926, descrie probabilitatea ca o particulă care se comportă ca undă să se afle într-un anumit loc, folosind fizica undelor și teoria probabilității. Această ecuație este unul dintre fundamentele mecanicii cuantice, fizica lumii atomice.

Ecuatia lui Schrödinger a fost folosită inițial pentru a descrie pozițiile electronilor într-un atom. Schrödinger a încercat să descrie comportamentul de undă al electronilor incorporând, de asemenea, conceptul de cuantă de energie introdus

CRONOLOGIE

1897 d.Hr.

J.J. Thomson descoperă electronul.

1913

Bohr afirmă că electronii orbitează un nucleu atomic.

ECUAȚIUNEA LUI SCHRÖDINGER

de Max Planck, ideea că unda de energie se propagă în unități de bază a căror energie este proporțională cu frecvența undei. Cuantele sunt cele mai mici unități, conferind o structură granulară oricărei unde.

Atomul lui Bohr Fizicianul danez Niels Bohr a fost cel care a aplicat electronilor unui atom această idee a energiei cuantificate. Întrucât electronii sunt eliberați cu ușurință din atomi și sunt încărcăți negativ, Bohr s-a gândit că, la fel ca planetele care orbitează Soarele, electronii orbitează un nucleu încărcat pozitiv. Totuși, electronii nu pot avea decât o anumită energie, corespunzătoare multiplilor cuantelor elementare de energie. În cazul electronilor menținuți într-un atom, aceste stări de energie constrâng electronii să rămână în anumite straturi, în funcție de energie. Este ca și cum planetele s-ar putea afla doar pe anumite orbite, definite de regulile energiei.

Modelul lui Bohr s-a dovedit extrem de util, mai ales în explicarea atomului simplu de hidrogen. Hidrogenul are un singur electron orbitând un singur proton, o particulă încărcată pozitiv care se comportă ca un nucleu. Stratificarea energiei cuantificate, realizată de Bohr, a explicat lungimile de undă caracteristice ale luminii emise și absorbite de hidrogen.

Ca și cum ar urca o scară, dacă electronului unui atom de hidrogen i se dă un impuls de energie, acesta poate sări pe o treaptă superioară sau într-un strat superior. Pentru a urca la cel mai înalt nivel, electronul trebuie să absoarbă energie de la un foton care are exact cantitatea de energie necesară. Așadar, este nevoie de o anumită frecvență a luminii pentru a ridica nivelul energetic al electronului. Nici o altă frecvență nu va da rezultate. Alternativ, odată impulsat cu energie, electronul poate cobori înapoi în stratul inferior, emițând un foton cu frecvența corespunzătoare.



1926

Schrödinger formulează ecuația undei.

Amprente spectrale Prin urcarea electronilor pe scara energetică, gazul de hidrogen poate absorbi o serie de fotoni cu frecvențe caracteristice, corespunzătoare pragurilor de energie dintre straturi. Dacă lumina albă este observată prin gaz, aceste frecvențe apar întinse, deoarece întreaga lumină este absorbită la fiecare prag de frecvență. Linile luminoase apar, în schimb, dacă hidrogenul este fierbinte, iar electronii lui sunt la un nivel ridicat pe scara de energie. Aceste energii caracteristice ale hidrogenului pot fi măsurate și sunt în concordanță cu predicțiile lui Bohr. Toți atomii generează linii similare, la diferite energii caracteristice. Prin urmare, acestea sunt ca niște amprente cu ajutorul cărora pot fi identificate diferite substanțe chimice.

Funcții undulatorii Nivelurile de energie ale lui Bohr și-au dovedit valabilitatea în cazul hidrogenului, dar s-au aplicat mai puțin bine în cazul altor atomi cu mai mult de un electron și cu nuclee mai grele. Mai mult, de Broglie arătase că electronii trebuie să fie considerați și unde. Așadar, orbita fiecărui electron putea fi considerată un front de undă. Dar, dacă electronul era analizat ca undă, era imposibil să se spună unde se află la un moment dat.

Captivă

O particulă care plutește în spațiul liber are o funcție undulatorie al cărei grafic arată ca o sinusoidă. Dacă particula este închisă într-o cutie, atunci ecuația funcției undulatorie trebuie să scadă până la zero la pereții cubiei și în afara lor, pentru că nu poate să existe în acel mediu. Funcția undulatorie din interiorul cubiei poate fi determinată analizând nivelurile de energie sau cuantele energetice ale particulei, care trebuie să fie totdeauna mai mari decât zero. Pentru că doar anumite niveluri de energie sunt permise, potrivit teoriei cuantelor, particula este mai probabil să se afle în anumite locuri decât în altele și există locuri în cutie în care particula nu se va afla niciodată, unde funcția undulatorie este zero. Sistemele

mai complicate au funcții undulatorii care sunt o combinație a mai multor sinusoides și a altor funcții matematice, la fel ca un tan muzical alcătuit din mai multe armonii. În fizica clasică, am folosi legile lui Newton pentru a descrie mișcarea unei particule într-o cutie (ca și cum aceasta ar fi o bilă de rulant în miniatură). În orice moment, am ști exact unde se află particula și în ce direcție se mișcă. În mecanica cuantică, însă, nu putem vorbi decât despre probabilitatea ca particula să se afle într-un anumit loc, la un anumit moment, și, datorită nivelurilor de energie cuantificate ale scadelor atomice, sunt locuri favorizate în care particula va fi găsită. Dar nu putem spune cu exactitate unde se află particula, deoarece aceasta este și o undă.

ECUAȚIUNEA LUI SCHRÖDINGER

Schrödinger, inspirat de teoria lui de Broglie, a scris o ecuație care poate indica poziția unei particule atunci când se comportă ca undă. El a reușit să facă acest lucru doar statistic, folosind probabilitatea. Ecuația lui Schrödinger este un element fundamental al mecanicii cuantice.

Schrödinger a introdus ideea unei funcții ondulatorii pentru a exprima probabilitatea ca o particulă să se afle într-un anumit loc, la un anumit moment, și pentru a include toate informațiile care pot fi cunoscute despre acea particulă. Funcțiile ondulatorii sunt extrem de greu de înțeles, întrucât nu le observăm în experiențele noastre și nu se par foarte greu de imaginat și chiar de interpretat filosofic.

Noua perspectivă deschisă de ecuația lui Schrödinger a dus și la realizarea unor modele ale orbitelor electronice din atomi. Acestea sunt contururi de probabilitate, indicând zone în care electronul s-ar putea afla cu o probabilitate de 80–90 la sută (ceea ce ridică problema că există o mică probabilitate ca aceștia să se afle în cu totul altă parte). Aceste contururi s-au dovedit a fi nu sferice, cum își imaginase Bohr, ci mai degrabă forme mai strânse, cum ar fi clopote sau gogoși. Chimistii folosesc acum aceste cunoștințe pentru a crea molecule.

Ecuația lui Schrödinger a revoluționat fizica, aplicând ideea dualității particulă-undă nu doar atomilor, ci întregii materii. Alături de Werner Heisenberg și de alții, Schrödinger este, într-adevăr, unul dintre părinți-fondatori ai mecanicii cuantice.

**” DUMNEZEU STĂPÂNEȘTE
ELECTROMAGNETISMUL
PRIN TEORIA UNDELOR LUNI,
MIERCURI ȘI VINERI, IAR
DIABOLUL ÎL STĂPÂNEȘTE PRIN
TEORIA CUANTICĂ MARȚI, JOI ȘI
SÂMBĂȚĂ. “**

Sir William Bragg, 1962–1962

**Idee de bază
aici, acolo,
dar nu peste tot**

26 Principiul incertitudinii al lui Heisenberg

Principiul incertitudinii al lui Heisenberg afirmă că viteza (sau impulsul) și poziția unei particule, la un moment dat, nu pot fi cunoscute amândouă cu exactitate – cu cât mai precis o măsurăm pe una, cu atât mai puțin putem afla despre cealaltă. Werner Heisenberg a afirmat că simpla observare a unei particule o modifică, făcând imposibilă cunoașterea cu precizie a acesteia. Așadar, nici comportamentul trecut, nici cel viitor al unei particule subatomice nu pot fi descrise cu certitudine. Determinismul a murit.

In 1927, Heisenberg și-a dat seama că teoria cuantică oferea câteva perspective ciudate. Implică faptul că experimentele nu pot fi făcute niciodată în condiții de izolare perfectă, pentru că acțiunea de măsurare în sine afecta rezultatul. El a exprimat această idee în „principiul incertitudinii” – nu poți măsura simultan poziția și impulsul unei particule subatomice (sau, echivalent, energia sa, la un moment dat). Dacă o știi pe una din ele, cealaltă este totdeauna incertă. Le poți măsura pe amândouă cu o anumită marjă de eroare, dar, cu cât această marjă este mai mică pentru una, cu atât mai mare devine pentru cealaltă. Această incertitudine, a argumentat el, era o consecință profundă a mecanicii cuantice – nu avea nimic de-a face cu lipsa de îndemânare sau cu acuratețea măsurătorii.

Incetitudinea În orice măsurătoare există un element de incertitudine în răspuns. Dacă măsurați lungimea unei mese cu un metru de croitorie, puteți spune

CRONOLOGIE

1687 d.Hr.

Legile mișcării ale lui Newton implică existența unui univers determinist.

1901

Legea lui Planck folosește tehnicile statistice.

că masa are un metru, dar poți spune acest lucru doar cu o marjă de eroare de un milimetru, deoarece aceasta este cea mai mică gradăție de pe metru de croitorie. Așa că masa ar putea să aibă 99,9 centimetri sau 100,1 centimetri și voi nu ai ști.

Este ușor să negăm din la incertitudine ca fiind datorată limitărilor instrumentelor noastre de măsurat, cum ar fi metru de croitorie, dar afirmația lui Heisenberg este fundamental diferită. Aceasta arată că nu putem ști niciodată cantitățile, impulsul și poziția, în același timp, indiferent cât de precis este instrumentul pe care îl folosim. Este ca atunci când am determinat poziția unui înotător și nu putem ști viteza lui în același moment. Le putem ști pe amândouă cu aproximație, dar, în momentul în care o stabilim pe una, cealaltă devine mai incertă.

Măsurătoarea Cum apare această problemă? Heisenberg a imaginat un experiment în care se măsoară mișcarea unei particule subatomice, cum ar fi un neutron. Un radar ar putea fi folosit pentru a urmări particula, prin ricoșarea undelor electromagnetice în aceasta. Pentru o acuratețe maximă, s-ar putea alege razele gamma, care au lungimi de undă foarte mici. Dar, din cauza dualității undă-particulă, fluxul de raze gamma care lovește neutronul s-ar comporta ca o serie de gloanțe de foton. Razele gamma au frecvențe foarte mari și, deci, fiecare foton ar purta o mare cantitate de energie. Când un foton ar lovi neutronul, i-ar da un impuls puternic, care i-ar modifica viteza. Prin urmare, chiar dacă am ști poziția neutronului în acel moment, viteza lui s-ar schimba imprevizibil, din cauza procesului de observare.

Dacă am folosi fotoni cu energii mai joase, pentru a reduce schimbarea de viteză, atunci lungimea lor de undă ar fi mai mare, astfel încât acuratețea cu care determinăm poziția ar fi afectată. Nu contează cum optimizăm experimentul, nu putem afla simultan poziția și viteza particulei. Există o limitare fundamentală, exprimată prin principiul incertitudinii al lui Heisenberg.

1927

Heisenberg publică
principiul incertitudinii.

Werner Heisenberg 1901-1976

Werner Heisenberg a trăit în Germania cele două războaie mondiale. Adolescent în timpul Primului Război Mondial, Heisenberg s-a alăturat mișcării pentru linereț a Germaniei militarizate, care încuraja munca și exercițiile fizice, în aer liber. Heisenberg a lucrat la ferme în timpul verii, folosind timpul liber pentru a studia matematica. A studiat fizica teoretică la Universitatea din Munchen și i-a fost greu să se împartă între dragostea lui pentru viața la țară și lumea abstractă a științei. După ce și-a dat doctoratul, Heisenberg a preluat posturi academice și l-a întâlnit pe Einstein în timpul unei vizite la Copenhaga. În 1925, Heisenberg a elaborat prima formă a

meccanicii cuantice, cunoscută ca mecanică matricială, și a primit Premiul Nobel pentru activitatea sa în 1932. Acum este cunoscut mai ales pentru principiul incertitudinii, formulat în 1927.

În timpul celui de-al Doilea Război Mondial, Heisenberg a condus proiectul armelor nucleare germane, care nu a avut succes, și a lucrat la un reactor de fizionie nucleară. Este discutabil dacă incapacitatea Germaniei de a fabrica o armă nucleară a fost deliberată sau doar provocată de lipsa de resurse. După război a fost arestat de Aliați și deținut, împreună cu alți savanți germani, în Anglia, după care a revenit la cercetare, în Germania.

În realitate, ce se întâmplă este mai greu de înțeles, din cauza cumulării comportamentului undă-particulă atât al particulelor subatomice, cât și al undelor electromagnetice. Definirea poziției particulelor, a impulsului, a energiei și a timpului sunt toate probabilistice. Ecuația lui Schrödinger descrie probabilitatea ca o particulă să se afle într-un anumit loc sau să aibă o anumită energie, potrivit teoriei cuantice, așa cum se manifestă în funcția undei particulei, funcție care descrie toate proprietățile acesteia.

$$\Delta x \Delta p > \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta E \Delta t > \frac{\hbar}{2}$$

Principiul
incertitudinii
al lui Heisenberg

Heisenberg a lucrat la teoria cuantică în același timp cu Schrödinger. Schrödinger a preferat să lucreze la aspectele ondulatorii ale sistemelor subatomice, în timp ce Heisenberg a cercetat natura cuantificată a energiei. Ambii fizicieni au elaborat modalități de a descrie matematic sistemele cuantice, potrivit preferințelor lor, Schrödinger folosind matematica undelor, iar Heisenberg folosind matricile, tabele numerice bidimensionale, ca un mod de a descrie seturile de proprietăți.

Interpretarea matricială și cea ondulatorie au avut, fiecare, adepți ei, iar fiecare tabără a crezut că cealaltă se înșela. Până la urmă, și-au pus în comun resursele și au elaborat o descriere comună a teoriei cuantice, care a devenit cunoscută ca

mecanică cuantică. În timp ce încerca să formuleze ecuațiile acesteia, Heisenberg a observat incertitudini care nu puteau fi eliminate. El le-a semnalat unui coleg, Wolfgang Pauli, într-o scrisoare din 1927.

Indeterminismul Heisenberg a înțeles implicațiile profunde ale principiului incertitudinii și a subliniat modul în care acesta pune probleme fizicii convenționale. În primul rând, principiul implică faptul că modul în care s-a comportat o particulă subatomică nu a fost limitat până când s-a făcut o măsurătoare a lui. Potrivit lui Heisenberg, „traectoria începe să existe doar când o observăm”. Nu putem să știm unde se află un lucru până când nu îl măsurăm. El a observat, de asemenea, că nici traiectoria viitoare a unei particule nu poate fi prezisă. Din cauza acestor incertitudini legate de poziție și de viteză, viitoarea stare este, de asemenea, imprevizibilă.

” CU CÂT ESTE MAI EXACT DETERMINATĂ POZIȚIA, CU ATÂT MAI PUȚIN EXACT SE CUNOAȘTE IMPULSUL ÎN ACEST MOMENT ȘI INVERS. “

Werner Heisenberg, 1927

Ambele afirmații au provocat o profundă ruptură de fizica newtoniană din acea perioadă, care pornea de la ipoteza că lumea există independent și că depindea doar de observatorul unui experiment să vadă adevărul implicit. Mecanica cuantică a arătat că, la nivel atomic, o astfel de perspectivă deterministă era lipsită de sens și se putea vorbi, în schimb, doar despre probabilitatea rezultatelor. Nu mai putem vorbi despre cauză și efect, ci doar despre șansă. Lui Einstein, ca și multor alora, i s-a părut greu de acceptat, dar a trebuit să fie de acord că ecuațiile arătau acest lucru. Pentru prima dată, fizica a trecut dincolo de laborator și de experiențe și s-a ancorat în domeniul matematicii abstracte.

Idee de bază
cunoașteți-vă limitele.

27 Interpretarea Copenhaga

Ecuațiile mecanicii cuantice le-au dat savanților răspunsurile corecte, dar ce însemnau ele? Fizicianul danez Niels Bohr a elaborat interpretarea Copenhaga a mecanicii cuantice, combinând ecuația undei a lui Schrödinger și principiul incertitudinii al lui Heisenberg. Bohr a argumentat că nu există experimente izolate - că intervențiile observatorului modifică rezultatele experimentelor cuantice. Făcând acest lucru, el a pus sub semnul întrebării însăși obiectivitatea științei.

In 1927, existau mai multe viziuni concurente asupra mecanicii cuantice. Erwin Schrödinger argumenta că fizica undelor putea să explice comportamentul cuantile, care putea fi descris, în totalitate, folosind ecuațiile undei. Werner Heisenberg, pe de altă parte, credea că natura corpusculară a undelor electromagnetice și a materiei, descrisă în reprezentarea lui matricială, avea cea mai mare importanță pentru înțelegerea naturii. Heisenberg a arătat, de asemenea, că înțelegerea noastră era fundamental limitată de principiul incertitudinii. El credea că și trecutul, și viitorul nu puteau fi cunoscute până când nu erau fixate prin observație, din cauza incertitudinii intrinseci a tuturor parametrilor care descriu mișcarea unei particule subatomice.

Un alt om de știință a încercat să pună laolaltă toate experimentele și teoriile, pentru a crea o nouă viziune care putea explica ansamblul. Acesta a fost Niels Bohr, șeful departamentului lui Heisenberg de la Universitatea din Copenhaga și savantul care explicase stările cuantificate de energie ale electronilor din atomul de hidrogen. Împreună cu Heisenberg, Max Born și alții, Bohr a elaborat

CRONOLOGIE

1901 d.Hr.

Planck publică legea radiației corpului negru.

1905

Einstein folosește cuantele de lumină pentru a explica efectul fotoelectric.

Niels Bohr 1885-1962

Niels Bohr a trecut prin cele două războaie mondiale și a lucrat cu una dintre cele mai importante fizicieni. Tânărul Niels a studiat fizica la Universitatea din Copenhaga, făcând experimente care i-au adus primul în laboratorul de fizică al lui Niels Bohr. S-a mutat în Anglia după ce și-a luat doctoratul, dar a avut conflicte cu J.J. Thomson. După ce a lucrat cu Ernest Rutherford în Manchester, s-a întors la Copenhaga, unde și-a încheiat lucrările la „atomul lui Bohr” (model în care

unii mai mulți oameni își imaginează un atom estărzit). A primit Premiul Nobel în 1922, chiar înainte ca mecanica cuantică să se dezvolte pe deplin. Pentru o scăpa din Germania la Hitler în anul 1930, savanții s-au îndreptat spre Institutul de Fizică Teoretică al lui Bohr, din Copenhaga, unde erau găzduiți într-un conac donat de Carlsberg, fabricanți de bere danezi. Când nazii au ocupat Danemarca, în 1940, Bohr a fugit într-o barcă de pescuit în Suedia, iar apoi în Anglia.

o viziune holistică a mecanicii cuantice, care a devenit cunoscută ca interpretarea Copenhaga. Este încă interpretarea preferată a celor mai mulți fizicieni, deși au fost propuse și alte variante.

Două părți Niels Bohr a adus o abordare filosofică a noii științe. A subliniat în special impactul pe care observatorii înșiși îl au asupra rezultatelor experimentelor cuantice. În primul rând, a acceptat ideea „complementarității”, faptul că aspectele de undă și de particulă ale materiei și ale luminii erau două fațete ale aceluiași fenomen, și nu două categorii separate de evenimente. La fel cum imaginile dintr-un test psihologic își schimbă sensul în funcție de modul în care sunt privite - două linii serpentine în oglindă pot să pară conturul unui vas ori două figuri în profil uitându-se una la cealaltă -, proprietățile ondulatorii sau de particulă sunt moduri complementare de a vedea același fenomen. Nu lumina i-a schimbat tipul, ci mai degrabă modul în care am decis să îl privim.

Pentru a face legătura între sistemele cuantice și cele normale, inclusiv cu experiența noastră la scară umană, Bohr a introdus și „principiul corespondenței”.

1927

Heisenberg publică principiul incertitudinii.
Este formulată interpretarea Copenhaga.

potrivit căruia comportamentul cuantic dispare pentru sisteme mai mari, cu care suntem familiarizați, în care se aplică fizica newtoniană.

Imposibil de cunoscut Bohr și-a dat seama de importanța fundamentală a principiului incertitudinii, care spune că nu pot fi măsurate și poziția, și impulsul (sau viteza) unei particule subatomice, în același timp. Dacă una din acestea este măsurată exact, atunci cealaltă este inevitabil nesigură. Heisenberg a crezut că incertitudinea este provocată de mecanica acțiunii de măsurare în sine. Pentru a măsura un lucru, chiar pentru a-l privi, trebuie să scoatem fotoni din el. Întrucât acest lucru implică totdeauna transferul unui impuls sau al unei energii, atunci acțiunea de observare a perturbat mișcarea inițială a particulei.

**” SUNTEM ÎNTR-O
JUNGLA ȘI NE
GĂSIM CALEA PRIN
ÎNCERCARE ȘI EROARE,
CONSTRUINDU-NE
DRUMUL ÎN URMA
NOASTRĂ, PE MĂSURĂ
CE ÎNAINȚĂM. “**

Max Born, 1882-1970

Bohr, pe de altă parte, credea că explicația lui Heisenberg este eronată. El a argumentat că observatorul și sistemul pe care îl măsoară nu pot fi separați complet niciodată. Acțiunea de observare în sine este cea care determină comportamentul final al sistemului, prin probabilitatea comportamentului undă-particulă din fizica cuantică, nu simplul transfer de energie. Bohr a considerat că trebuie analizat comportamentul întregului sistem, în ansamblu; nu pot fi separate particula, radarul și chiar observatorul. Chiar dacă privim un măr, trebuie să luăm în

considerare proprietățile întregului sistem. Inclusiv sistemul vizual din creierul nostru, care procesează fotonii din măr.

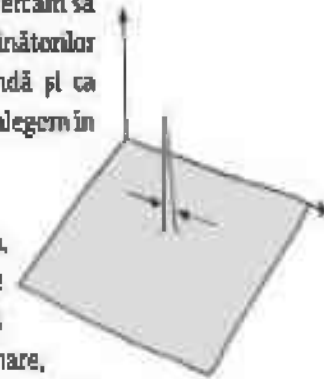
Bohr a mai argumentat că însuși cuvântul „observator” este folosit greșit, deoarece creează imaginea unui privitor extern, separat de lumea care este privită. Un fotograf ca Ansel Adams poate capta frumusețea naturală imaculată din Yosemite, dar rezervația este, într-adevăr, neatinsă de om? Cum ar putea fi astfel, când fotograful este acolo? Adevărata imagine este cea a unui om care se află în natură, nu separat de ea. În opinia lui Bohr, observatorul este, într-o mare măsură, parte a experimentului.

Acest concept al participării observatorului, a fost șocant pentru fizicieni, deoarece pune sub semnul întrebării chiar modul în care se făcea dintotdeauna cercetarea științifică și conceptul fundamental al obiectivității științifice. Și filosofii au ripostat. Natura nu mai era mecanică și previzibilă, ci, în profunzime, era imposibil de cunoscut. Ce însemna acest lucru pentru conceptul elementar de adevăr, ca să

nu mai vorbim despre ideile simple, cum ar fi trecutul și viitorul? Lui Einstein, Schrödinger și alora le-a fost greu să renunțe la convingerile lor ferme despre un univers exterior, determinist și verificabil. Einstein considera că, întrucât poate fi descrisă doar cu ajutorul statisticii, teoria mecanicii cuantice este în cel mai bun caz incompletă.



Funcțiile undelor se prăbușesc Dat fiind că observăm particulele subatomice și undele fie ca o entitate, fie ca alta, ce anume hotărăște cum se manifestă acestea? De ce lumina care trece prin două fante interferează ca undele într-o hundă, dar trece la comportamentul de particulă marți, când încercăm să captăm fotonul trecând printr-una din fante? După părerea lui Bohr și a susținătorilor Interpretării Copenhaga, lumina există în ambele stări simultane, ca undă și ca particulă, la una sau alta din forme atunci când este măsurată. Prin urmare, alegem în avans cum se va manifesta, atunci când decidem cum vrem să o măsurăm.



În acest moment al deciziei, când stabilim caracterul de particulă sau de undă, spunem că funcția undei s-a prăbușit. Toate probabilitățile privind rezultatele care sunt conținute în funcția undei a lui Schrödinger se prăbușesc, astfel încât toate rezultatele, cu excepția celui pe care îl obținem, se pierd. Prin urmare, potrivit lui Bohr, funcția inițială a undei pentru un fascicul de lumină conține toate posibilitățile, fie că lumina apare sub formă de undă sau de particulă. Când măsurăm lumina, apare sub o anumită formă nu pentru că se transformă dintr-un tip de substanță în altul, ci pentru că există sub ambele forme, în același timp. Merele și portocalele cuantice nu sunt nici una, nici alta, ci un hibrid.

” CINE NU ESTE
SOCAT DE TEORIA
CUANTICĂ NU A
ÎNȚELES-0. “

Niels Bohr, 1885-1962

Fizicienii încă au dificultăți în a înțelege intuitiv ce înseamnă mecanica cuantică și, după Bohr, și alții au oferit noi modalități de a o interpreta. Bohr a afirmat că trebuie să ne reîntoarcem la planșa de proiectare pentru a înțelege lumea cuantică și că nu putem folosi concepte care ne sunt familiare din viața cotidiană. Lumea cuantică este altceva, este ciudată și nefamiliară, iar noi trebuie să acceptăm acest lucru.

Idee de bază
tu alegi.

28 Pisica lui Schrödinger

Pisica lui Schrödinger este și vie, și moartă, în același timp. În acest experiment imaginar, o pisică dintr-o cutie poate să fie omorâtă sau nu de o capsulă cu otravă, în funcție de un factor declanșator întâmplător. Erwin Schrödinger a folosit această metaforă pentru a arăta cât de ridicolă considera el interpretarea Copenhaga a teoriei cuantice, care susținea că, până când deznodământul nu este văzut cu adevărat, pisica ar fi într-o stare mixtă, și vie, și moartă.

In interpretarea Copenhaga a teoriei cuantice, sistemele cuantice există ca un nor de probabilități, până când un observator apasă pe buton și alege un rezultat pentru experimentul său. Înainte de a fi observat, sistemul conține toate posibilitățile. Lumina este și particulă, și undă, până când decidem ce aspect al ei dorim să măsurăm – atunci adoptă respectiva formă.

În timp ce un nor de probabilități pare un concept plauzibil pentru ceva abstract, cum ar fi un foton sau o undă de lumină, ce ar putea să însemne pentru ceva mai mare, de care am putea să fim conștienți? Care este, de fapt, natura acestui amestec cuantic?

În 1935, Erwin Schrödinger a publicat un articol conținând un experiment ipotetic, prin care încerca să ilustreze acest comportament cu un exemplu mai colorat și mai familiar decât particulele subatomice. Schrödinger era extrem de critic față de viziunea Copenhaga potrivit căreia acțiunea de observare influențează comportamentul sistemului observat. El voia să demonstreze cât de absurdă era interpretarea Copenhaga.

CRONOLOGIE

1927 d.Hr.

Interpretarea Copenhaga
a mecanicii cuantice

1935

Schrödinger propune
experimentul cu pisica
cuantică.

Incertitudine cuantică Schrödinger și-a imaginat situația descrisă în continuare, situație ipotetică. Nici un animal nu a avut de suferit.

O pisică este închisă într-o cutie blindată, împreună cu un dispozitiv diabolic (care trebuie securizat împotriva unei interacțiuni directe cu pisica): într-un contor Geiger se găsește o cantitate extrem de mică de substanță radioactivă, atât de puțină încât este posibil ca unul dintre atomi să se descompună în cursul unei ore, dar, de asemenea, cu aceeași probabilitate, nici un atom nu se va descompune; dacă unul se descompune, tubul contorului se descarcă și, descărcându-se, eliberează un ciocan care sparge un flacon mic cu acid cianhidric. Dacă sistemul este lăsat în pace timp de o oră, se poate spune că pisica încă trăiește dacă nici un atom nu s-a descompus. Prima descompunere a unui atom ar otrăvi-o.



Prin urmare, există o probabilitate de 50 la sută ca pisica să fie în viață (să sperăm) sau moartă atunci când deschidem cutia după o oră. Schrödinger a argumentat că, urmând logica interpretării Copenhaga, ar trebui să ne gândim la pisică existând într-un amestec de stări, fiind și moartă, și vie, în același timp, când cutia este închisă. La fel cum imaginea de undă sau de particulă a unui electron este fixată doar în momentul detectării, viitorul pisicii este determinat doar atunci când alegem să deschidem cutia și să o privim. Când deschidem cutia, facem observația și rezultatul este stabilit.

Desigur, susținea Schrödinger, aceste afirmații sunt ridicole, mai ales când este vorba despre un animal real, ca pisica. Din experiența noastră de zi cu zi știm că pisica trebuie să fie ori vie, ori moartă, nu un amestec al ambelor stări, și este o nebunie să ne imaginăm că este într-un fel de stare mixtă, doar pentru că nu ne uităm la ea. Dacă pisica trăiește, tot ce și-ar aminti ar fi că a stat într-o cutie fiind plină de viață, nu un nor de probabilități sau o funcție de undă.

1957

Everett propune ipoteza
mai multor lumi.

Printre alții, Einstein a fost de acord cu Schrödinger că imaginea descrisă de interpretarea Copenhaga era absurdă. Împreună, ei au pus întrebări suplimentare. Ca animal, putea pisica să se observe pe sine și să își suprimă astfel funcția de undă? De ce este nevoie ca să fi observator? Observatorul trebuie să fie o ființă conștientă, ca un om, sau poate să fie orice animal? Dar o bacterie?

Mergând mai departe, ne-am putea întreba dacă există ceva în lume independent de observația noastră. Dacă facem abstracție de pisica din cutie și ne gândim doar la particula radioactivă care se descompune, aceasta s-a descompus sau nu dacă am ținut cutia închisă? Sau este într-o stare mixtă cuantică până când deschidem cutia, așa cum presupune interpretarea Copenhaga? Poate că întreaga lume este într-o stare mixtă și nimic nu este definitivat până nu îl observăm, făcând ca funcția de undă să dispară când începem să observăm acel lucru. Locul vostru de muncă se dezintegrează când sunteți departe de el la sfârșit de săptămână sau este protejat de privirile trecătorilor? Dacă nu se uită nimeni la ea, casa voastră de vacanță din pădure încetează să existe în realitate? Sau așteaptă într-un amestec de stări, ca o suprapunere a situației de a fi arsă, de a fi fost inundată, invadată de furnici sau de urși ori stă acolo până când vă întoarceți la ea? Păsările și veverițele pot fi considerate observatori? Oricât de ciudat ar suna, în acest mod explică interpretarea Copenhaga a lui Bohr lumea la scară atomică.

Erwin Schrödinger 1887–1961

Fizicianul austriac Erwin Schrödinger a studiat mecanica cuantică și a încercat (fără succes), împreună cu Einstein, să unifice gravitația și mecanica cuantică într-o teorie unică. El a preferat interpretările exote asupra undelor și nu a fost conștient de dualitatea undă-particulă, ceea ce l-a adus în conflict cu alți fizicieni.

În adolescență, Schrödinger a fost pasionat de poezia germană, dar s-a hotărât să studieze fizica teoretică la universitate. Trimis pe frontul italian în Primul Război Mondial, Schrödinger și-a continuat activitatea științifică de la distanță și chiar a publicat lucrări, revenind apoi la academie. Schrödinger a publicat ecuația undei în 1926 și a primit Premiul Nobel pentru ea

în 1933, împreună cu Paul Dirac. Schrödinger s-a mutat apoi la Berlin, pentru a conduce vechiul departament al lui Max Planck, dar, când Hitler a venit la putere în 1933, s-a hotărât să plece din Germania. I-a venit, greeș, să se stabilească undeva și a lucrat un timp în Oxford, Princeton și Graz. După anexarea Austriei la Germania, în 1938, a fugit din nou, proluând un post creat pentru el la noul Institut pentru Studii Avansate din Dublin, Irlanda, unde a rămas până când a revenit la Viena. Viața personală a lui Schrödinger a fost la fel de complicată ca și cea profesională. A avut cupă cu mai multe femei, dintre care una a locuit un timp împreună cu el și cu soția lui la Oxford.

Mal multe lumi Problema filosofică a modului în care observațiile determină rezultatele a dus la o altă variantă de interpretare a teoriei cuantice – ipoteza mai multor lumi. Propusă în 1957 de Hugh Everett, viziunea alternativă evită indeterminarea funcțiilor de undă neobservate, spunând, în schimb, că există un număr infinit de universuri paralele. De fiecare dată când se face o observație și se înregistrează un anumit rezultat, un nou univers se desprinde. Fiecare univers este exact la fel ca altul, cu excepția celui care a fost observat când s-a schimbat. Așadar, probabilitățile sunt toate la fel, dar succesiunea evenimentelor ne poartă printr-o serie de universuri care se despart.

Într-o interpretare prin prisma teoriei mai multor lumi a experimentului cu pisica al lui Schrödinger, când se deschide cutia, pisica nu mai este într-o stare în care sunt suprapuse toate situațiile posibile. Într-un univers, otrava este eliberată, în altul – nu.



Este discutabil dacă acesta este un progres față de starea mixtă a funcției de undă. Putem evita necesitatea existenței unui observator care să ne scoată uneori din starea de nor de probabilități, dar prețul este invocarea unei întregi game de universuri alternative în care lucrurile sunt puțin diferite. Într-un univers sunt o vedetă rock, în altul doar un cântăreț pe stradă. Într-unul port șosete negre, în altul – gri. Aceasta pare o risipă de universuri bune (și ar exista indicii ale unor universuri în care oamenii au garderobe în cuiori tipătoare). Alte universuri pot fi mai semnificativ diferite – într-unul Elvis e încă în viață, în altul John F. Kennedy nu a fost împușcat, în altul Al Gore a fost președinte al Statelor Unite. Această idee a fost adoptată pe scară largă de scenariștii unor filme, cum ar fi *Sliding Doors* (*Încolo de ușă*), în care Gwyneth Paltrow trăiește în Londra două vieți paralele, una de succes și alta nu.

Unii fizicieni de astăzi susțin că raționamentul lui Schrödinger din experimentul lui metaforic cu pisica nu era valabil. La fel ca în cazul teoriei sale bazate exclusiv pe unde, el a încercat să aplice idei cunoscute ale fizicii clasicului lumii cuantice, când, de fapt, noi trebuie să acceptăm faptul că lumea cuantică este stranie.

Idee de bază
mort sau viu?

29 Paradoxul EPR

Mecanica cuantică sugerează că informația poate fi transmisă instantaneu între sisteme, oricât de departe unele de altele ar fi acestea. O astfel de legătură implică încrengături vaste de interconectivitate între particulele din univers. Einstein, Podolsky și Rosen au considerat că această idee este absurdă și și-au exprimat îndoielile într-un paradox. Experimentele arată că ideea încrengăturii cuantice este adevărată, ceea ce deschide calea spre aplicații în criptografie cuantică, în IT și chiar în teleportare.

Albert Einstein nu a acceptat niciodată interpretarea Copenhaga a mecanicii cuantice, care susține că sistemele cuantice există într-un amestec de probabilități până când sunt observate, când adoptă starea finală. Înainte de a fi filtrat prin observație, sistemul există într-o combinație a tuturor stărilor posibile. Einstein nu era mulțumit cu această imagine, argumentând că un astfel de amestec ar fi nerealist.

**” EU, ÎN ORICE CAZ,
SUNT CONVINS CĂ
EL (DUMNEZEU) NU
ARUNCA CU ZARUL. “**

Albert Einstein, 1926

Particule paradoxale În 1935, Einstein, Boris Podolsky și Nathan Rosen și-au exprimat obiecțiile sub forma unui paradox. Acesta a devenit cunoscut ca paradoxul Einstein-Podolsky-Rosen, sau EPR. Imaginați-vă o particulă care se descompune în două particule mai mici. Dacă particula-mamă inițială era staționară,

particulele-fiice trebuie să aibă un moment cinetic linear și unghiular egal și opus, astfel încât suma să fie zero (întrucât momentul cinetic se conservă). Așadar, particulele rezultate trebuie să se îndepărteze una de cealaltă și să se rotească în direcții opuse. Alte proprietăți cuantice ale perechii de particule sunt legate în mod similar. Odată emise, dacă am măsura direcția de rotație a uneia din particule,

CRONOLOGIE

1927 d.Hr.

Este formulată
interpretarea Copenhaga.

1935

Einstein, Podolsky și Rosen
își publică paradoxul.

Teleportarea

Teleportarea a fost descrisă de multe ori în literatura SF. Începuturile tehnologiei comunicațiilor, cum ar fi telegrafia în secolul al XIX-lea, au dus la ideea că și alte informații decât impulsurile electrice ar putea fi transmise pe distanțe mari. În anii 1920 și 1930 s-a început să se scrie despre teleportare în cărți, cum ar fi cele ale lui Arthur Conan Doyle, și a devenit o marmă în povestirile SF. În *Myra* lui George Langelaan (adaptată în numeroase versiuni), un cercetător se teleportează, dar informațiile corpului său se amestecă cu cele ale unei muștii, transformându-l într-o ființă fantastică, parțial om, parțial mușcă.

Teleportarea a devenit o temă populară cunoscută cu serialul de televiziune *Star Trek*, în care se repetă celebra replică „teleportează-mă, Scottie”. Mașina de teletransport de pe nave Enterprise descompune pasagerul atîrnîndu-l cu atomii și îl reasamblează perfect. În viața reală, se consideră că teleportarea este imposibilă din cauza principiului incertitudinii lui Heisenberg. Deși este imposibil să se transmită atomi, încercătură cuantică permite transmiterea pe distanțe lungi a informației, dar până acum aceasta a funcționat doar pentru particule extrem de mici.

am ști imediat și că particula cealaltă se rotește în sens opus – chiar dacă a trecut un interval de timp semnificativ de la eliberarea lor și acestea s-au îndepărtat mult una de cealaltă. Este ca și cum ne-am uita la unul din doi gemeni identici și l-am observa culoarea ochilor. Dacă sunt verzi, am ști imediat că geamănul celălalt are și el ochii verzi.

Pentru a explica acest lucru cu ajutorul interpretării Copenhaga, am spune că, înainte de orice măsurătoare, ambele particule (sau ambii gemeni) există într-o suprapunere a ambelor stări posibile. Funcțiile de undă ale particulelor includeau informații despre ele rotindu-se în ambele direcții; gemenii aveau un amestec din toate culorile de ochi posibile. Când facem măsurători asupra unui membru al perechi, funcțiile de undă pentru amândoi se prăbușesc în același timp.

Einstein, Podolsky și Rosen au susținut că această idee nu avea nici un sens. Cum putea fi afectată instantaneu o particulă care putea fi foarte departe de perechea sa?

1964

John Bell deduce inegalități într-o realitate locală.

1981-1982

Se demonstrează că inegalitățile lui Bell sunt încălcate, fapt care confirmă ideea încercăturii.

1993

Biții cuantici sunt denumiți qubiți.

Einstein demonstrase deja că viteza luminii era limită de viteză universală; nimic nu putea să meargă mai repede. Cum era fenomenul observării primei particule comunicat celei de-a doua? Faptul că o măsurătoare într-o parte a universului putea să afecteze „simultan” materia din partea opusă însemna că mecanica cuantică era ecocuată.

Încrângătura În aceeași lucrare în care a descris paradoxul pisicii, Schrödinger a folosit cuvântul „încrângătura” pentru a descrie această ciudată acțiune la distanță.

După părerea lui Bohr, era inevitabil ca universul să fie legat la nivel cuantic. Dar Einstein prefera să creadă într-o „realitate locală”, în care cunoștințele despre lume pe plan local erau certitudinî. La fel cum se presupune că gemenii se nasc cu aceeași culoare a ochilor și nu sunt într-o stare mixtă, cu ochi multicolori, până când îi observăm, Einstein a presupus că o pereche de particule a fost emisă într-o parte sau alta, direcție care a fost stabilită de atunci înainte; nu era nevoie de comunicare la distanță, iar observatorul nu avea nici un rol. Einstein a presupus că unele variabile ascunse, denumite acum „inegalitățile lui Bell”, vor fi descoperite și se va dovedi că el avea dreptate, dar nu a fost descoperită nici o dovadă pentru a-i susține ideea.

Ideea lui Einstein privind realitatea locală s-a dovedit a fi falsă. Experimentele au demonstrat chiar că încrângătura este adevărată, până și în cazul în care sunt mai mult de două particule și pentru particule îngemănate care sunt separate de mulți kilometri.

Informație cuantică Ideea încrângăturii cuantice a apărut, inițial, ca o dezbateră filosofică, dar acum permite codificarea și transmiterea informației în moduri diferite de tot ceea ce era posibil înainte. În computerele obișnuite, informația este codificată sub formă de biți cu valori fixe în codul binar. În codificarea cuantică, două sau mai multe stări cuantice sunt folosite, dar sistemul poate exista, de asemenea, într-un amestec al acestor stări. În 1993, a fost lansat termenul „qubit”, ca o prescurtare de la *quantum bit* (bit cuantic) (amestecul cuantic de valori ale biților), iar computere cuantice sunt proiectate acum pe baza acestor principii.

Stările înlănțuite oferă noi legături de comunicație între qubiți. Dacă are loc o măsurătoare, atunci aceasta dă startul unei cascade de viitoare comunicații cuantice între elementele sistemului. Măsurătoarea unui element determină

valorile tuturor celorlalte elemente; astfel de efecte sunt utile în criptografia cuantică și chiar în teleportarea cuantică.

Indeterminarea mecanicii cuantice exclude, de fapt, teleportarea așa cum este descrisă în povestiri sau în filme SF. Nu puteam obține informația completă din cauza principiului incertitudinii. Prin urmare, teleportarea unui om sau chiar a unei muște este imposibilă. O versiune cuantică, însă, este posibilă prin manipularea sistemelor înlănțuite. Dacă doi oameni, numiți de fizicieni Alice și Bob, au în comun o pereche de fotoni îngemănati, Alice poate face măsurători ale fotonului ei astfel încât să transfere întreaga informație inițială fotonului gemăn al lui Bob. Fotonul lui Bob devine identic cu fotonul inițial al lui Alice, deși este o reproducere. Dacă aceasta este sau nu o teleportare adevărată, este o întrebare bună. Nici fotonii, nici informația nu merg nicăieri, astfel încât Alice și Bob pot fi în părți opuse ale universului și să continue, totuși, să își transforme fotonii îngemănati.

Criptografia cuantică se bazează pe folosirea încrengăturii cuantice ca o cheie de criptare. Emițătorul și receptorul trebuie să dețină fiecare componentele unui sistem înlănțuit. Un mesaj poate fi măzgălit la întâmplare și unicul cod pentru decriptarea lui este trimis receptorului, prin intermediul legăturilor cuantice. Avantajul este că, dacă mesajul este interceptat, orice măsurătoare distruge mesajul (modificându-i starea cuantică), astfel încât poate fi utilizat doar o dată și poate fi citit doar de cineva care știe exact ce măsurători cuantice trebuie făcute pentru a descifra mesajul cu ajutorul cheii de decriptare.

Încrengătura cuantică ne spune că este greșit să presupunem că întreaga noastră lume există independent, într-o singură formă, indiferent de modul în care o observăm. Nu există obiecte fixate în spațiu, ci doar informație. Putem doar să adunăm informații și să le ordonăm așa cum considerăm că este potrivit. Universul este o mare de informații.

**” SE PARE CĂ PÂNĂ
ȘI DUMNEZEU ESTE
CONSTRÂNS DE PRINCIPIUL
INCERTITUDINII ȘI CĂ NU
POATE ȘTI ȘI POZIȚIA, ȘI
VITEZA UNEI PARTICULE.
JOACĂ, DECI, DUMNEZEU
ZARURI CU UNIVERSUL?
TOATE DOVEZILE ÎL ARATĂ
CĂ FIIND UN JUCĂTOR
ÎNVETERAT, CARE ARUNCĂ
ZARUL CU ORICE OCAZIE
POSIBILĂ. “**

Stephen Hawking, 1993

Idee de bază mesagerie instantanee

30 Principiile excluziunii lui Pauli

Principiul de excluziune al lui Pauli explică de ce materia este rigidă și impermeabilă – de ce nu ne scufundăm în podea și mâna noastră nu trece prin masă. Explică, de asemenea, existența stelelor neutronice și a piticelor albe. Regulile lui Wolfgang Pauli se aplică pentru electroni, protoni și neutroni, prin urmare, apleacă întreaga materie. Principiul afirmă că nici una dintre aceste particule nu poate avea același set de numere cuantice simultan.

Ce anume dă materiei rigiditate? Atomii sunt, în cea mai mare parte, spațiu liber, prin urmare, de ce nu putem să îi strângem ca pe un burete sau să trecem materialele unele prin altele, la fel cum radem brânza prin răzătoare? Întrebarea de ce materia ocupă spațiul este una dintre cele mai profunde întrebări ale fizicii. Nu putem cădea în centrul Pământului și nu putem să ne scufundăm în podele, iar clădirile nu se prăbușesc sub greutatea lor.

Nu sunt la fel Principiul de excluziune, elaborat de Wolfgang Pauli în 1925, explică de ce atomii normali nu pot coexista în același loc din spațiu. După cum a arătat Pauli, comportamentul cuantic al atomilor și al particulelor înseamnă că acestea trebuie să respecte anumite reguli care le împiedică să aibă aceeași funcție de undă sau, echivalent, aceeași proprietăți cuantice. Pauli și-a gândit principiul pentru a încerca să explice comportamentul electronilor în atomi. Se știe că electronii preferă anumite stări de energie sau straturi, în jurul nucleului. Dar electronii sunt împrăștiați în aceste straturi și nu se adună niciodată toți

CRONOLOGIE

1925 d.Hr.

Pauli formulează principiul de excluziune.

1933

Este descoperit neutronul și este prezisă existența stelelor neutronice.

în stratul de energie aflat cel mai jos. Ei par să populeze straturile după regulile descoperite de Pauli.

La fel cum fizica newtoniană se bazează pe conceptele de forță, moment cinetic și energie, mecanica cuantică are propriul set de parametri. Spinul cuantic este analog momentului cinetic unghiular, de exemplu, dar este cuantificat și la două anumite valori. Potrivit ecuației lui Schrödinger, este nevoie de patru numere cuantice pentru a descrie orice particulă – trei coordonate spațiale și al patrulea număr, spinul. Regulile lui Pauli afirmă că oricare doi electroni dintr-un atom nu pot avea aceleași patru numere cuantice. Doi electroni nu pot fi niciodată în același loc, cu aceleași proprietăți, în același timp. Așadar, pe măsură ce numărul de electroni dintr-un atom crește, pe măsură ce atomul devine mai greu, de exemplu, electronii umplu spațiile care le sunt alocate și trec treptat în straturi din ce în ce mai înalte. Este ca și cum s-ar umple locurile dintr-o sală mică de teatru, pornind de la scenă în sus.

Fermioni Regulile lui Pauli se aplică tuturor electronilor și altor particule al căror spin cuantic este multiplu de 0,5 al unității de bază, inclusiv protonilor și neutronilor. Astfel de particule sunt numite „fermioni”, după fizicianul italian Enrico Fermi. Fermionii au funcții de undă asimetrice, care trec de la pozitiv la negativ, după cum arată ecuația lui Schrödinger. Spinul are și o direcție, așa că fermionii se pot afla unul lângă altul dacă au spinuri opuse. Doi electroni pot ocupa amândoi cel mai jos strat de energie al unui atom, dar numai dacă au spinuri opuse.

Deoarece unitățile de construcție de bază ale materiei, electronii, protonii și neutronii, sunt toate fermioni, principiul de excluziune al lui Pauli dictează comportamentul atomilor. Întrucât nici una dintre aceste particule nu poate să își împartă cu alta starea de energie cuantică, atomii sunt rigizi. Electronii distribuiți în mai multe straturi de energie nu pot fi striviți în stratul cel mai apropiat de

1967

Este descoperit primul pulsar,
un tip de stea neutronică.

Wolfgang Pauli 1900-1959

Wolfgang Pauli este cunoscut mai ales pentru principiul de excludere și pentru sugerarea existenței neutrinoi. Pauli a fost un student precoce în Austria, care citea lucrările lui Einstein și scria despre relativitate. Heisenberg l-a descris pe Pauli ca pe o pasăre de noapte care lucra în cafenele și rareori mergea la cursurile de dimineață. Pauli a trecut prin multe probleme personale, inclusiv sinuciderea mamei lui, un mariaj dificil, de scurtă durată și o problemă cu alcoolul. Căutând ajutor,

a mers în consultații la psihologul elvețian Carl Jung, care a înregistrat mii de vise ale lui Pauli. Viața lui a revenit la normal când s-a recăsătorit, dar apoi a început al Doilea Război Mondial. Din Statele Unite, a lucrat pentru a menține via cercetarea științifică europeană. S-a întors la Zurich după război și a primit Premiul Nobel în 1945. În ultimii ani ai vieții, a fost preocupat de aspectele mai filosofice ale mecanicii cuantice și de problemele acestora în psihologie.

nucleu; de fapt, ei se opun comprimării cu mare presiune. Prin urmare, doi fermioni nu pot sta în același fotoliu la teatru.

Atracția cuantică Stelele neutronice și piticele albe își datorează existența principiului de excludere al lui Pauli. Când o stea ajunge la sfârșitul vieții sale și nu mai poate arde combustibil, implodează. Propria gravitație uriașă atrage spre interior toate straturile de gaz. Când se prăbușește, o parte din gaz poate fi expulzat (ca în explozia unei supernove), dar cenușa rămasă se contractă și mai mult. Când atomii sunt striviți la o altă, electronii încearcă să se opună compactării. Electronii ocupă straturile de energie aflate cel mai jos posibil fără să se încalce principiul lui Pauli, împingând steaua în sus datorită doar acestei „presiuni de degenerare”. Stelele pitice albe au aproximativ aceeași masă cu Soarele, îngheșuită într-o zonă cu un diametru similar cu cel al Pământului. Sunt atât de dense, încât o bucată cât un cub de zahăr din materia unei pitice albe poate cântări o tonă.



Pământ



Pitică albă



Steaneutronică

În cazul stelelor cu autogravitație mai mare, în special al stelelor cu o masă de peste 1,4 ori mai mare decât a Soarelui (denumită limită de masă Chandrasekhar), compactarea nu se oprește aici. Într-un al doilea proces, protonii și electronii pot fuziona formând neutroni, astfel încât steaua gigant se reduce la o minge strânsă de neutroni.

Ca și în cazul anterior, întrucât neutronii sunt fermioni, ei nu pot avea toți aceeași stare cuantică. Presiunea de degenerare este și acum cea care menține steaua, dar aceasta este limitată la o rază de doar aproximativ zece kilometri, întreaga masă a Soarelui sau a mai multor stele ca Soarele fiind înghesuită într-o zonă de lungimea Manhattanului. Stelele neutronice sunt atât de dense încât o bucată de materie cât un cub de zahăr ar cântări peste o sută de milioane de tone. Dacă gravitația este și mai mare, ca în cazul celor mai mari stele, compactarea generează o gaură neagră.

Bosoni Regulele lui Pauli se aplică doar fermionilor. Particulele pentru care valoarea spinului este un multiplu întreg al unității de bază și care au funcții de undă simetrice sunt denumite „bosoni”, după fizicianul indian Satyendra Nath Bose. Bosonii includ particule asociate cu forțe fundamentale, cum ar fi fotonii, și unele nuclee simetrice, cum este cea al heliului (care conține doi protoni și doi neutroni). Orice număr de bosoni poate ocupa aceeași stare cuantică, iar acest lucru poate duce la comportament coordonat de grup. Un exemplu este laserul, în care mai mulți fotonii ai unei singure culori acționează toți împreună.

Inițial o extensie a imaginii atomului lui Bohr, principiul de excluziune al lui Pauli a precedat cu puțin principalul progres al teoriei cuantice, susținut de Heisenberg și Schrödinger. Dar este fundamental pentru studiul lumii atomice și, spre deosebire de mare parte din mecanica cuantică, are consecințe palpabile.

” ÎNTREBAREA DE CE ELECTRONII UNUI ATOM ÎN STAREA SA DE BAZĂ NU SUNT TOȚI PRINȘI ÎN STRATUL INFERIOR A FOST EVIDENȚIATĂ DEJA DE BOHR CA FIIND PROBLEMA FUNDAMENTALĂ... NICI O EXPLICAȚIE A ACESTUI FENOMEN NU POATE FI DATĂ PE BAZA MECANICII CLASICE. “

Wolfgang Pauli, 1940

**Idee de bază
este ocupat locul acesta?**

31 Superconductivitatea

La temperaturi foarte scăzute, unele metale și aliaje conduc electricitatea fără nici o rezistență. Curentul poate curge prin acești superconductori timp de miliarde de ani fără să piardă energie. Deoarece electronii se cuplează și circulă toți odată, evitând coliziunile care generează rezistență electrică, particulele se apropie de o stare de *perpetuum mobile*.

Când mercurul este răcit până la câteva grade peste zero absolut, conduce electricitate fără nici o rezistență. Acest fapt a fost descoperit în 1911, de către fizicianul olandez Heike Onnes, când a scăpat mercur în heliu lichid la temperatura de 4,2 grade Kelvin (peste zero absolut). Fără nici o rezistență la curentul electric, a fost descoperit primul material superconductor. La scurt timp după aceea, un comportament similar a fost observat în cazul altor metale reci, inclusiv plumb și compuși ca nitrit de niobiu. Rezistența dispărea în totalitate sub o temperatură critică, care varia în funcție de material.

Perpetuum mobile O consecință a rezistenței zero este aceea că un flux de curent care curge printr-un superconductor poate curge la nesfârșit. În laborator, curentul a fost menținut mulți ani, iar fizicienii estimează că un astfel de flux ar dura mii de miliarde de ani, până să piardă energie. Acest fenomen este cel mai apropiat de un *perpetuum mobile* pe care savanții l-au descoperit până acum.

Gândire de grup Fizicienii s-au întrebat cum un astfel de tranzit important poate avea loc la temperaturi scăzute. Temperatura critică sugera o tranziție rapidă de fază, așa că fizicienii au cercetat comportamentul cuantic al electronilor dintr-un metal. Mecanica cuantică a oferit câteva indicii și mai multe idei au fost formulate

CRONOLOGIE

1911 d.Hr.	1925	1933	anii 1940
Onnes descoperă superconductivitatea.	Este prezisă existența condensatelor Bose-Einstein.	Se demonstrează că superconductorii resping câmpurile magnetice.	Sunt descoperiți compuși superconductori.

Superfluide

Superfluidele sunt fluide care nu au vâscozitate, astfel încât pot curge printr-un tub la nesfârșit, fără frecare. Superfluiditatea este cunoscută din anii 1930. Un exemplu este heliul -4 superfluid (masa atomică 4, dată de doi protoni, doi neutroni și doi electroni). Atomii de heliu -4 sunt foarte alăbăstrui din perechi de formioni.

Superfluidele se comportă foarte ciudat când sunt puse într-un recipient – ele pot curge într-un strat de grosimea unui atom în sus pe marginea recipientului. Poate fi creată o fântână dacă este introdus un tub capilar

care este încălzit, deoarece superfluidul nu poate păstra un gradient de temperatură (are conductivitate termică infinită), iar căldura provoacă imediat o schimbare de presiune. Dacă încercăm să rotim o găleată cu superfluid (vezi p. 4), se întâmplă ceva ciudat. Deoarece nu există vâscozitate, fluidul nu începe imediat să se rotească, ci rămâne liniștit, dacă rotim găleata mai repede, iar apoi, într-un punct critic, superfluidul începe brusc să se rotească, iar viteza lui este cuantificată – superfluidul se rotește doar la anumite vitez.

În anul 1950. În 1957, fizicienii americani John Barden, Leon Cooper și John Schrieffer au oferit o explicație convingătoare și completă a superconductivității în metale și aliaje simple, denumită acum teoria BCS. Ei au sugerat că supraconductivitatea apare datorită comportamentului ciudat al electronilor, când aceștia sunt legați în perechi.

Perechile de electroni, numite perechi Cooper, interacționează cu rețeaua atomilor de metal prin intermediul vibrațiilor care le leagă. Un metal este o rețea de nuclee încărcate pozitiv deasupra căreia plutește liber o „mare” de electroni. Când metalul este foarte rece, iar rețeaua este calmă, un electron încărcat negativ, în trecere, trage puțin de punctele pozitive ale rețelei și le scoate în afară, formând un fel de buclă. Un alt electron care se mișcă în apropiere poate fi atras de această rețea cu o încărcătură pozitivă puțin mai mare, iar cei doi electroni se cuplează. Cel de-al doilea îl urmează pe primul. Acest fenomen se produce cu electronii din întreg metalul și numeroase perechi sincronizate de electroni se unesc într-o mișcare ca de val.

1957

Este formulată teoria BCS a superconductivității.

1986

Sunt creați superconductori la temperaturi înalte.

1995

Sunt produse în laborator condensate Bose-Einstein.

Condensate Bose-Einstein

La temperaturi ultrare mici, grupurile de bosoni se pot comporta foarte ciudat. În apropierea temperaturii zero absolut, mulți bosoni se pot afla în aceeași stare cuantică, ceea ce face comportamentul cuantic vizibil în scară mult mai mare.

Prezisa mea întâi de Albert Einstein în 1925 și bazate pe ideile fizicianului indian Satyendra Nath Bose, aceste așa-numite condensate Bose-Einstein (BEC) nu au fost obținute în laborator până în anul 1995. Eric Cornell și Carl Wieman, de la Universitatea din Colorado, și, puțin mai târziu, Wolfgang Ketterle de la MIT au observat acest comportament într-un gaz

de atomi de rubidiu răciți la o 170-a miliarda parte dintr-un kelvin. În BEC, toți atomii grupuți cu aceeași viteză, alterată doar de principiul incertitudinii al lui Heisenberg. BEC se comportă ca superfluid. Bosonilor li s-a permis să împartă stări cuantice una cu alta. Einstein a dedus că, răcind bosonii până dincolo de o temperatură critică extrem de scăzută, aceștia ar cădea (sau s-ar „condensa”) în starea cuantică cu energia cea mai joasă, rezultând o nouă formă de materie. BEC se descompune foarte ușor, așa că este încă prea devreme pentru aplicații practice, dar nu pot învăța nulla despre mecanica cuantică.

Un electron unic trebuie să respecte principiul de excluziune al lui Pauli, care împiedică particulele cu funcții de undă antisimetrice (fermioni) să împartă aceeași stare cuantică. Prin urmare, atunci când sunt mai mulți electroni în aceeași zonă, aceștia trebuie să aibă energii diferite unul de altul. Așa se întâmplă, în mod normal, într-un atom sau într-un metal. Dar, când electronii formează perechi și se comportă ca o singură particulă, ei nu mai au acest comportament. Funcția de undă a ansamblului de electroni devine simetrică și, împreună, aceștia nu mai sunt fermioni, ci, mai degrabă, bosoni. Și, ca bosoni, perechile de electroni pot avea aceeași energie minimă. Acest lucru generează seturi de perechi care au, în ansamblu, o energie puțin mai mică decât ar avea electronii liberi din metal. Această diferență de energie este cea care provoacă modificarea rapidă a proprietăților la temperatura critică.

Când energia calorică a rețelei este mai mică decât această diferență de energie, observăm fluxul constant al perechilor de electroni cuplat la vibrațiile rețelei, care caracterizează superconductivitatea. Deoarece undele rețelei dirijează mișcările de-a lungul acesteia la distanțe mari, nu există rezistență – toate perechile de electroni se mișcă fără să se lovească una de cealaltă. Evitând orice coliziune cu atomii care stau pe loc din rețea, perechile de electroni acționează ca un superfluid.

care poate curge nestingherit. La temperaturi mai ridicate, perechile Cooper se despart și își pierd proprietățile de bosoni. Electronii pot intra în coliziune cu ionii din rețea, care sunt acum calzi și vibrează, și să genereze rezistență electrică. Tranziția rapidă între stări se produce atunci când electronii trec de la fluxuri coordonate de bosoni la fermioni cu comportament haotic sau invers.

Superconductori calzi În anul 1980, tehnologia superconductorilor a luat avânt. În 1986, cercetătorii elvețieni au descoperit o nouă clasă de materiale ceramice care deveneau superconductori la temperaturi destul de calde – așa-numiții „superconductori la temperaturi ridicate”. Primul compus produs de ei, o combinație de lantan, bariu, cupru și oxigen (cunoscut ca oxid de cupru sau cuprat), căpăta comportament de superconductor la 30 de grade Kelvin. Un an mai târziu, alți cercetători au produs un material care devenea superconductor la 90 de grade Kelvin, temperatură mai mare decât a agentului de răcire cel mai utilizat, azotul lichid. Prin folosirea ceramicilor pe bază de perovskit și cuprați de mercur (cu thaliu), temperaturile de superconductivitate au ajuns acum la aproximativ 140 de grade Kelvin și sunt posibile temperaturi critice și mai mari, la presiune ridicată.

Astfel de ceramici se presupune că ar fi izolatori, prin urmare, acest rezultat a fost neașteptat. Fizicienii încă sunt în căutarea unei teorii care să explice superconductivitatea la temperaturi mari. Elaborarea acestei teorii este un domeniu al fizicii care progresează rapid și care va revoluționa electronica.

La ce sunt folosiți superconductorii? Ajută la producerea de electromagneți puternici, cum sunt cei utilizați pentru scannerele RMN din spitale și pentru acceleratoarele de particule. Cândva, vor putea fi folosiți pentru transformatoare eficiente sau chiar pentru trenuri care levitează pe pernă magnetică. Dar, deoarece acum funcționează la temperaturi extrem de scăzute, utilizarea lor este limitată. Continuă cercetările pentru obținerea de superconductori la temperaturi ridicate, care ar putea fi folosiți în aplicații uluitoare.

Idee de bază
rezistența este inutilă.

32 Atomului Rutherford

Atomii nu sunt cele mai mici elemente care formează materia, cum se credea odată. La începutul secolului XX, fizicienii ca Ernest Rutherford au pătruns în interiorul lor, dezvăluind mai întâi straturi de electroni și apoi un miez lăptos, sau nucleu, din protoni și neutroni. Ca să țină nucleul laolaltă, a fost inventată o nouă forță fundamentală – forța nucleară tare. Începuse era atomică.

Ideea că materia este formată din aglomerări de atomi minusculi există din vremea Greciei antice. Dar, dacă grecii credeau că atomul este cel mai mic component invizibil al materiei, fizicienii și-au dat seama că lucrurile nu stau așa și au început să cerceteze structura interioară a atomului însuși.

Modelul budincii cu prune Primul strat abordat a fost cel al electronilor. Electronii au fost eliberați din atomi în 1887, de Joseph John Thomson, care a transmis curent electric prin gazul conținut într-un tub de sticlă. În 1904, Thomson a propus pentru atom „modelul budincii cu prune”, în care electronii încărcati negativ erau răspândiți ca prunele sau stafidele într-un aluat spongios încărcat electric pozitiv. Astăzi ar fi mai potrivit să fie numit modelul budincii cu mure. Atomul lui Thomson era, în esență, un nor de sarcină pozitivă conținând electroni, care puteau fi eliberați relativ ușor. Atât electronii, cât și sarcinile pozitive se puteau amesteca prin „budincă”.

Nucleul Nu mult după aceea, în 1909, Ernest Rutherford s-a mirat de rezultatul unui experiment pe care îl făcuse, în care particule grele alfa erau lansate printr-o foaie de aur subțire, atât de subțire încât cele mai multe particule treceau

CRONOLOGIE

1887 d.Hr.	1904	1909
Thomson descoperă electronul.	Thomson propune modelul budincii cu prune.	Rutherford face experimentul cu foaie de aur.

direct prin ea. Spre marea mirare a lui Rutherford, o mică parte dintre particule ricoșau pe foaie, întorcându-se spre el. Acestea își schimbau direcția cu 180°, ca și cum ar fi lovit un zid de cărămidă. El și-a dat seama că în interiorul atomilor de aur care formau foaia se găsea ceva suficient de tare și de masiv ca să respingă grelele particule alfa.

Rutherford a înțeles că respectivul comportament nu putea fi explicat prin modelul budinței cu prune al lui Thomson. Dacă un atom ar fi fost doar o pastă în care se amestecă particule încărcate pozitiv și negativ, atunci nici una nu ar fi fost suficient de grea ca să trimită înapoi particulele alfa mai mari. Așadar, a continuat el raționamentul, atomii de aur trebuie să aibă un miez dens, numit „nucleu”, după cuvântul în latină, care se referă la miezul de nucă. Aici a început domeniul fizicii nucleare, fizica nucleului atomic.

Izotopii Fizicienii știau să calculeze masele diferitelor elemente din tabelul periodic, așadar cunoșteau greutatea relativă ale atomilor. Dar era mai greu de văzut cum erau dispuse sarcinile electrice. Pentru că Rutherford știa doar despre electroni și despre nucleul încărcat pozitiv, el a încercat să echilibreze sarcinile electrice, presupunând că nucleul era format dintr-un amestec de protoni (particule încărcate pozitiv, descoperite în 1918 prin izolarea nucleelor de hidrogen) și niște electroni care neutralizau parțial sarcina electrică. Electronii rămași se învârt în jurul nucleului pe orbitele cunoscute

Ernest Rutherford 1871-1937

Nemeculindozul Rutherford a fost un alchimist al vremurilor moderne, care a transmutat un element, azotul, într-un altul, oxigenul, cu ajutorul radioactivității. Profesor de frunte la Laboratorul Cavendish de la Cambridge, în Anglia, el a fost mentorul multor viitori laureați ai Premiului Nobel. Era poreclit „Crocodilul”, iar această viețuitoare a rămas simbolul laboratorului până în zilele noastre. În 1930, cercetările lui referitoare la înfrângerea radiațiilor alfa și la natura structurii interne a atomului l-au condus spre identificarea nucleului.

” A FOST APROAPE LA FEL DE GREU DE CREZUT CA ATUNCI CÂND AI TRAGE UN OBUZ DE TUN PRINTR-O FOAIE DE HÂRTIE, IAR PROIECTILUL S-AR ÎNTOARCE SPRE TINE, SĂ TE LOVEASCĂ. “

Ernest Rutherford, 1936

1911

Rutherford propune modelul nuclear.

1918

Rutherford izolează protonul.

1932

Chadwick descoperă neutronul.

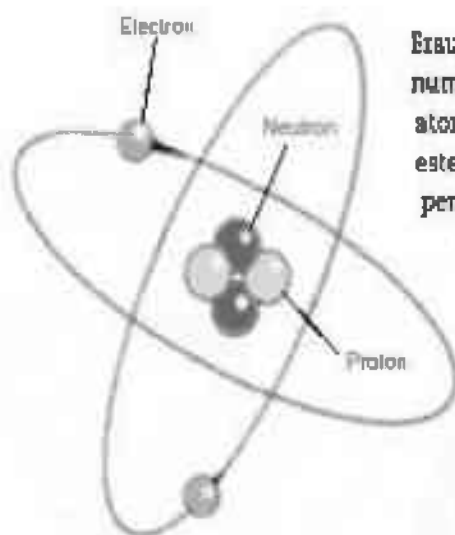
1934

Yukawa propune forța nucleară tare.

Trei de un fel

Substanțele radioactive emit trei tipuri de radiații, numite alfa, beta și gamma. Radiațiile alfa constau din nucleu grele de heliu, compuse din câte doi protoni și doi neutroni legați înlăuntrul. Deoarece sunt grele, radiațiile alfa nu ajung prea departe înainte să-și piardă energia prin coliziuni și pot fi oprite cu ușurință, chiar și cu o foaie de hârtie. Al doilea tip de radiație este format din particulele beta, care sunt electroni de mare viteză – foarte ușori și încărcăți electric negativ. Particulele beta ajung mai departe decât particulele alfa, dar pot fi oprite și ele de metale, cum ar fi, de exemplu, o placă de aluminiu. Al treilea tip sunt radiațiile gamma, care sunt unde electromagnetice asociate cu fotoni, apăsător care nu transportă masă, ci foarte multă energie. Radiațiile gamma pătrund foarte adânc și pot fi oprite doar cu blocuri dense de ciment sau de plumb. Toate cele trei tipuri de radiații sunt emise de atomi instabili, pe care îi denumim ca fiind radioactive.

deja din teoria cuantică. Hidrogenul, cel mai ușor element, are un nucleu format dintr-un singur proton cu un electron care orbitează centrul lui.



Erau cunoscute și alte forme de elemente cu mase neobișnuite, numite izotopi. Carbonul are, de obicei, masa egală cu 12 unități atomice, dar este întâlnit uneori și cu masa de 14 unități. Carbon-14 este instabil, cu timpul de înjumătățire (durata de care este nevoie pentru ca jumătate dintre atomi să se dezintegreze prin emisia unei particule radioactive) de 5 370 de ani, emițând o particulă beta ca să devină Azot-14. Această reacție este folosită în datarea cu carbon radioactiv, pentru aflarea vârstei unor artefacte arheologice vechi de mil de ani, cum ar fi lemnul sau cărbunele de lemn.

Neutronii La începutul anilor 1930 a fost descoperit un nou tip de „radiație”, care era suficient de grea ca să elibereze protoni din parafină, dar fără sarcină electrică. James Chadwick, fizician la Cambridge, a arătat că această nouă radiație era, de fapt, o particulă neutră cu aceeași masă ca și protonul. A fost numită neutron și modelul atomului a fost rearanjat. Savanții și-au dat seama că un atom de carbon-12, de exemplu, are un nucleu format din șase protoni și șase neutroni (care îi dau masa de 12 unități atomice) și șase electroni care orbitează nucleul. Neutronii și protonii sunt cunoscuți drept nucleoni.

Forța tare Nucleul este extrem de mic, în comparație cu întinderea totală a atomului, cu electronii care îl învăluie. De o sută de mii de ori mai mic decât atomul, nucleul are diametrul de doar câțiva femtometri (sau o zecime de milionime din a miliardă parte a unui metru). Dacă atomul ar avea dimensiunea Pământului, nucleul din centrul lui ar avea doar 10 kilometri diametru, adică lărgimea Manhattanului. Nucleul concentrează practic întreaga masă a atomului într-un loc foarte mic, iar el poate include multe zeci de protoni. Ce ține toate aceste sarcini pozitive laolaltă, înghesuite într-un loc atât de mic? Pentru a contrabalansa respingerea electrostatică a sarcinilor pozitive și a ține nucleul laolaltă, fizicienii au fost nevoiți să inventeze un nou tip de forță, pe care au numit-o forță nucleară tare.

” NU EXISTĂ NIMIC ÎN AFARĂ DE ATOMI ȘI DE SPAȚIUL GOL; ORICE ALTCEVA ESTE O PĂRENE. ”

Democrit, 460–370 î.Hr.

Dacă doi protoni sunt aduși aproape unul de celălalt, ei mai întâi se resping, din cauza sarcinilor lor electrice de același tip (urmând legea inversului pătratului distanței a lui Maxwell). Dar, dacă ei sunt împinși și mai aproape, intră în acțiune forța nucleară tare, care îi unește. Forța tare apare doar la distanțe de separare foarte mici, dar este mult mai puternică decât forța electrostatică. Dacă protonii sunt împinși și mai aproape unul de altul, ei rezistă, acționând ca și cum ar fi niște sfere tari – așadar, există o limită precisă până la care se pot apropia. Acest comportament înseamnă că nucleul este strâns unit, foarte compact și extrem de tare.

În 1934, Hideki Yukawa a sugerat că forța nucleară este purtată de niște particule speciale (numite mezonii), care acționează similar cu fotonii. Protonii și neutronii sunt lipiți laolaltă prin schimburi de mezonii. Nici acum nu se știe de ce forța nucleară tare acționează la astfel de distanțe specifice – de ce este atât de slabă în afara nucleului și atât de puternică la apropiere. Este ca și cum ar ține nucleonii laolaltă la o distanță precisă. Forța nucleară tare este una dintre cele patru forțe fundamentale, împreună cu gravitația, electromagnetismul și o altă forță nucleară, numită forță slabă.

**Idee de bază
miezul cel tare**

33 Antimateria

Navele spațiale din cărțile și filmele SF sunt desori propulsate de „motoare cu antimaterie”, dar antimateria există cu adevărat și a fost chiar fabricată artificial pe Pământ. O imagine în oglindă a unei forme de materie care are energie negativă, antimateria nu poate coexista multă vreme împreună cu materia - dacă vin în contact, cele două se anihilează reciproc într-o străfulgerare de energie. Totmai existența antimateriei este cea care supunează simetrii profunde în fizica particulelor.

Mergi pe stradă și întâlnești o copie a propriei persoane. Este gemănul tău din antimaterie. Vă strângeți mâinile? Antimateria a fost prezisă din anul 1928 și descoperită în anul 1930, prin contribuția comună a teoriei cuantice și a relativității. Este o formă de materie „în oglindă”, în care sarcinile electrice ale particulelor, energiile și alte proprietăți cuantice sunt toate de semn invers. Așadar, un antielectron, numit pozitron, are aceeași masă ca electronul, dar are sarcină electrică pozitivă. La fel, protonii și alte particule au „frați” de semn opus în antimaterie.

” PENTRU FIECARE MILIARD DE PARTICULE DE ANTIMATERIE, EXISTAU UN MILIARD ȘI UNA PARTICULE DE MATERIE. IAR, CÂND ANIHILAREA RECIPROCĂ A LUAT SFÂRȘIT, A RĂMAS PARTICULA CE TRECEA DE MILIARD - ȘI ACESTA ESTE UNIVERSUL NOSTRU ACTUAL. “

Albert Einstein, 1926

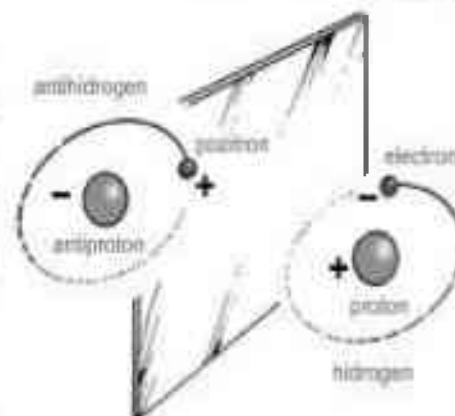
Energia negativă Când a creat o ecuație pentru electron, în 1928, fizicianul britanic Paul Dirac a observat că ea oferea posibilitatea ca electronii să aibă și energie negativă, și pozitivă. La fel cum ecuația $x^2 = 4$ are două soluții, $x = 2$ și $x = -2$, Dirac avea două căi de rezolvare a problemei: energia pozitivă era rezultatul așteptat, asociată cu un electron obișnuit, dar energia negativă nu avea nici un sens. În loc să ignore acest termen generator de confuzii, Dirac a sugerat, însă, că astfel de particule ar putea, de fapt, să existe. Această stare complementară a materiei este „anti”-materia.

CRONOLOGIE

1928 d.Hr.	1932	1955
Dirac deduce existența antimateriei	Anderson detectează pozitronul.	Sunt detectați antiprotonii.

ANTIMATERIA 5

Antiparticulele Vânătoarea de antimaterie a început rapid. În 1932, Carl Anderson a confirmat experimental existența pozitronilor. El urmărea traiectoriile fluxurilor de particule produse de razele cosmice (particule pline de energie, care intră în atmosfera Pământului din spațiu). A observat traiectoria unei particule încărcate pozitiv și care avea masa electronului, pozitronul. Astfel, antimateria a devenit ceva real.



A fost nevoie să treacă două decenii până să fie detectată următoarea antiparticulă, antiprotionul. Fizicienii au construit noi dispozitive acceleratoare de particule, care foloseau câmpuri electromagnetice pentru a mări viteza particulelor ce treceau prin ele. Asemenea raze puternice de protoni accelerați au produs suficientă energie pentru a evidenția antiprotionul, în 1955. Nu mult timp după aceea a fost descoperit și antineutronul.

Folosind echivalentul în antimaterie al componentelor, era posibil să se construiască un antiatom sau măcar un antinucleu? Răspunsul, după cum s-a demonstrat în 1965, era afirmativ. Oamenii de știință de la CERN, în Elveția, și de la Laboratorul Brookhaven, din SUA, au creat dintr-un antiprotion și un antineutron un antinucleu de hidrogen greu (deuteriu), antideuteriul. „Lipirea” unui pozitron de un antiprotion pentru fabricarea unui antiatom de hidrogen (antihidrogen) a durat ceva mai mult, dar a fost realizată și ea în 1995. În zilele noastre, specialiștii în fizică experimentală testează dacă antihidrogenul se comportă la fel ca hidrogenul normal.

Fizicienii pot crea antimaterie în acceleratoarele de particule, cum sunt cele de la CERN, în Elveția, sau de la Fermilab, lângă Chicago. Când fasciculele de particule și antiparticule se întâlnesc, ele se anihilează reciproc într-o străfulgerare de energie pură. Masa este convertită în energie după ecuația lui Einstein, $E=mc^2$. Așadar, dacă îți întâlnești vreodată geamănul din antimaterie, n-ar fi o idee bună să îl îmbrățișezi!

1965

Este produs primul antinucleu.

1995

Sunt creați atomi de antihidrogen.

Paul Dirac 1902-1984

Paul Dirac a fost un fizician britanic talentat, dar timid. Colegii lui glumeau că vocabularul său consta din „Da”, „Nu” și „Nu știu”. A spus odată: „Am fost învățat la școală să nu încep niciodată o propoziție dacă nu ți pot sfârșitul”. Chiar dacă nu era deloc vorbăreț, compensa prin talent în matematică. Teza lui de doctorat a rămas celebră ca fiind impresionant de scurtă și plină de forță, prezentând o nouă descriere matematică a mecanicii cuantice. El a unificat parțial teoria

mecanicii cuantice și teoria relativității, dar este amintit și pentru remarcabilele cercetări privind monopolul magnetic și pentru că a anticipat existența antimateriei. Când i s-a decernat Premiul Nobel în 1933, primul gând al lui Dirac a fost să îl refuze, ca să evite publicitatea. Dar a renunțat când i s-a spus că refuzul i-ar atrage și mai multă publicitate. Dirac nu și-a invitat tatăl la ceremonie, probabil din cauza relațiilor tensionate cu după sinuciderea fratelui său.

Asimetrile universale Dacă antimateria ar fi răspândită prin univers, aceste episoade de anihilare ar trebui să se producă tot timpul. Materia și antimateria s-ar distruge treptat una pe alta în mici explozii, lichidându-se reciproc. Pentru că nu vedem aceasta, nu poate exista prea multă antimaterie în jur. De fapt, materia normală este de departe singura formă de particule pe care le vedem. Așadar, la începutul formării universului trebuie să fi existat un dezechilibru, astfel încât a fost creată mai multă materie decât opusul ei, antimateria.

Ca toate imaginile în oglindă, particulele și antiparticulele sunt legate prin simetrii de diferite tipuri. Una dintre ele este timpul. Datorită energiei lor

” ÎN ȘTIINȚĂ, CINEVA ÎNCEARCĂ SĂ LE SPUNĂ DAMENILOR, ÎNTR-UN FEL CARE SĂ FIE ÎNȚELES DE TOATĂ LUMEA, CEVA CE NIMENI NU A ȘTIUT PÂNĂ ATUNCI. DAR ÎN POEZIE ESTE EXACT INVERS. ”

Paul Dirac, 1902-1984

negative, antiparticulele sunt echivalentul matematic al unor particule normale care se mișcă înapoi în timp. Astfel, un pozitron poate fi conceput ca un electron care călătorește dinspre viitor spre trecut. Următoarea simetrie implică sarcini și alte proprietăți cuantice care sunt inversate și este cunoscută drept „conjugare a sarcinii electrice”. O a treia simetrie se referă la mișcarea prin spațiu. Dacă ne întoarcem la principiul lui Mach, mișcările nu sunt, în general, afectate de schimbarea direcției coordonatelor care formează rețeaua spațială. O particulă care se deplasează de la stânga la dreapta arată la fel ca una care se mișcă de la dreapta la stânga și nu

se schimbă nici după cum se rotește, în sensul acelor de ceasornic sau în sens opus. Această simetrie „de paritate” se aplică pentru majoritatea particulelor, dar există câteva pentru care, uneori, lucrurile stau altfel. Neutrini există într-o

singură formă și se rotesc întotdeauna în aceeași direcție, spre stânga; nu există neutrini care să se rotească spre dreapta. Inversul este valabil pentru antineutrini, care se rotesc întotdeauna spre dreapta. Așadar, simetria de paritate poate fi uneori încălcată, cu toate că se conservă o combinație de conjugare a sarcinii și de paritate, numită simetrie de conjugare a sarcinii-paritate sau, prescurtat, simetrie CP.

Este un mare mister de ce universul conține mai ales materie, și nu antimaterie. Antimateria reprezintă o proporție infimă – sub 0,01% – din ceea ce există în univers. Dar universul conține și forme de energie, inclusiv extrem de mulți fotoni. Așadar, este posibil ca în Big Bangul original să fi fost create cantități uriașe atât de materie, cât și de antimaterie, dar, în scurt timp, acestea s-au anihilat reciproc, în cea mai mare parte. Acum a rămas doar vârful aisbergului. Un dezechilibru minuscul în favoarea materiei poate fi suficient pentru a explica dominația de acum a acesteia. Pentru aceasta, doar una din zece miliarde 10^{22} de particule de materie trebuie să supraviețuiască o fracțiune de secundă după Big Bang. Este foarte probabil ca materia rămasă să fi fost păstrată prin intermediul foarte ușoarei asimetrie rezultate din încălcarea simetriei CP.

Particulele care s-ar putea să fi fost implicate în această asimetrie sunt un fel de bosoni grei, numiți bosoni X, care încă nu au fost detectați. Aceste particule masive se dezintegrează ușor dezechilibrat, astfel încât să dea o foarte mică supraproducție de materie. Bosonii X ar putea interacționa și cu protonii și să-l facă să se dezintegreze, ceea ce ar fi o veste proastă, deoarece înseamnă că toată materia va dispărea într-o ceață de particule și mai fine. Dar vestea bună este că așa ceva s-ar putea întâmpla după o perioadă foarte lungă de timp. Faptul că noi suntem aici și nimeni nu a văzut un proton dezintegrându-se înseamnă că protonii sunt foarte stabili și au o durată de viață de cel puțin 10^{31} - 10^{32} ani, adică miliarde de miliarde de miliarde de ani, mult mai mare decât vârsta actuală a universului. Dar dacă universul chiar îmbătrânește, materia obișnuită ar putea și ea să dispară, într-o bună zi.

” OPUSUL UNEI AFIRMAȚII CORECTE ESTE O AFIRMAȚIE FALSĂ. DAR OPUSUL UNUI ADEVĂR PROFUND POATE LA FEL DE BINE SĂ FIE UN ALT ADEVĂR PROFUND. “

Niels Bohr, 1885-1962

Idee de bază
imaginea în oglindă a materiei

34 Fisiunea nucleară

Demonstrarea fisiunii nucleare este unul dintre marile momente de cumpănă ale științei. Descoperirea ei a însemnat un salt uriaș pentru fizica nucleară și a marcat intrarea în scenă a energiei atomice. Dar, sub umbrela războiului, această nouă tehnologie a fost implementată aproape imediat în armele nucleare, distrugând orașele japoneze Hiroshima și Nagasaki și declanșând o problemă de proliferare, care rămâne greu de rezolvat.

La începutul secolului XX, lumea interioară a atomului a început să fie dezvăluită. Ca păpușile rusești Matrioșka, atomul conține mai multe pături exterioare de electroni ce învâluie un miez tare, nucleul. La începutul anilor 1930, a fost „spart” nucleul însuși, care s-a dovedit format dintr-un amestec de protoni, încărcăți electric pozitiv, și neutroni fără sarcină electrică, ambii mult mai grei decât efemerul electron și legați împreună prin forța nucleară tare. Desfacerea „cleiului” de energie al nucleului a devenit misiunea prioritară a savanților.

Ruperea Prima tentativă reușită de spargere a nucleului datează din 1932. La Cambridge, în Anglia, Cockroft și Walton au bombardat metale cu fluxuri de protoni foarte rapizi. Aceste metale și-au schimbat compoziția și au eliberat energie conform formulei lui Einstein, $E = mc^2$. Dar experimentele au consumat mai multă energie decât a fost creată, așa că fizicienii nu au crezut că această energie ar putea fi folosită comercial.

În 1939, fizicienii germani Otto Hahn și Fritz Strassmann au bombardat cu neutroni elementul greu uraniu, în încercarea de a crea elemente noi și mai grele. Ce au obținut, în schimb, au fost elemente mult mai ușoare, unele doar cu jumătate din masa uraniului. Era ca și cum nucleul s-ar fi spart în două atunci

CRONOLOGIE

1932 d.Hr.	1939	1942
James Chadwick descoperă neutronul.	Este observată fisiunea atomică.	Este obținută prima reacție în lanț.

când a fost bombardat cu ceva ce avea mai puțin de o jumătate de procent din masa lui, ca un pepene ce se sparge în două când este lovit de o cireafă. Hahn a descris experimentul într-o scrisoare trimisă Lisei Meitner, colega lor austriacă aflată în exil, care tocmai fugise din Germania nazistă în Suedia. Meitner a fost la fel de surprinsă și a discutat subiectul cu nepotul ei fizician, Otto Frisch. Meitner și Frisch și-au dat seama că la ruperea nucleului se elibera energie, deoarece cele două jumătăți aveau, în total, mai puțină energie. Când s-a întors în Danemarca, Frisch nu și-a putut ține în frâu entuziasmul și i-a pomenit de ideea lor lui Niels Bohr. Acesta, care se pregătea să traverseze oceanul spre America, s-a apucat imediat să lucreze la o explicație și l-a pus în temă pe Italianul Enrico Fermi, de la Universitatea Columbia.

”... PROGRESIV, AM AJUNS LA IDEEA CĂ NU AR TREBUI SĂ NE GÂNDIM LA NUCLEU CA ȘI CUM AR FI SPART ÎN DOUĂ CU O DALȚĂ, CI CĂ POATE ERA CEVA ÎN IDEEA LUI BOHR, CARE COMPARA NUCLEUL CU O PICĂTURĂ DE LICHID.”

Otto Frisch, 1967

Meitner și Frisch și-au publicat lucrarea înaintea lui Bohr și, inspirați de diviziunea celulei biologice, au introdus termenul de „fisiune”. Între timp, la New York, Fermi și colegul lui Leó Szilárd, exilat din Ungaria, și-au dat seama că această reacție a urandului putea produce un plus de neutroni, care să determine și mai multă fisiune și să provoace astfel o reacție nucleară în lanț (o reacție care se autoîntreține).

Energia nucleară

Stabilitatea reacțiilor în lanț subcritice poate fi menținută, astfel încât acestea să fie folosite în centrale nucleare-electrice. Bare de oxidul de boron reglează fluxul de neutroni prin combustibilul de uraniu, absorbind neutronii suplimentari. În plus, este nevoie de substanțe de răcire, pentru reducerea căldurii din

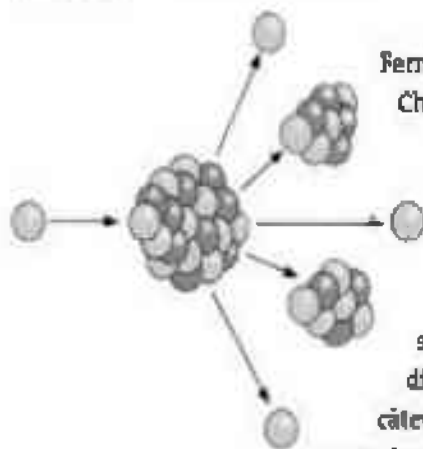
reacțiile de fisiune. Cei mai întâlniți substanți de răcire sunt apa, dar pot fi folosite și apa presurizată, heliul gazos sau sodiul lichid. Astăzi Franța este pe primul loc în lume la folosirea energiei nucleare, producând astfel 70% din energia folosită la nivel țării, comparativ cu 20% în Marea Britanie.

1945

Bombetele atomice sunt lansate asupra Japoniei.

1951

Din energia nucleară este obținută electricitate.



Fermi a obținut prima reacție în lanț în 1942, la Universitatea din Chicago, într-un laborator amenajat sub stadionul de fotbal.

Reacția în lanț Fizicianul Arthur Compton își amintește ziua:

„Pe balcon, o duzină de savanți urmăreau instrumentele și manevrau sistemele de control. De partea cealaltă a camerei era un cub mare, făcut din blocuri de grafit și de uraniu, în care speram că avea să se dezvolte reacția atomică în lanț. În spațiile dintre blocuri erau inserate barele de control și de siguranță. După câteva teste preliminare, Fermi a ordonat să se retragă barele de control cu încă 30 cm. Știam că acesta avea să fie adevăratul test. Contoarele Geiger care înregistrau neutronii din reactor au început să țâcăne din ce în ce mai repede, sunetul lor devenind un pârâit continuu. Reacția s-a intensificat până când radiațiile puteau deveni un pericol pe platforma pe care stăteam noi. Atunci a venit ordinul lui Fermi, să fie coborâte barele de siguranță. Pârâitul contoarelor a scăzut, până la o serie lentă de clickuri. Pentru prima dată, energia atomică fusese eliberată, controlată și oprită. Cineva i-a dat lui Fermi o sticlă de vin italianesc și s-au auzit câteva urale.”

Proiectul Manhattan Să-lăd era atât de îngrijorat că savanți germani le puteau copia realizarea, încât l-a abordat pe Albert Einstein și, împreună, l-au trimis președintelui Roosevelt o scrisoare de avertizare, în 1939. Cu toate acestea, nu s-au întâmplat prea multe până în 1941, când fizicianul din Marea Britanie le-au transmis colegilor de peste ocean calcule ce arătau cât de ușor se putea construi

Deșeurile nucleare

Reactorurile de fisie sunt producători eficienți de energie, dar generează și deșeurile radioactive. Cele mai toxice produse includ resturile combustibilului de uraniu, care pot rămâne radioactive mii de ani, și elementele mai grele (cum este plutoniul), care pot dura sute de mii de ani. Aceste tipuri extrem de periculoase de deșeurile sunt produse în cantități mici, dar extragerea uraniului din minereu și producerea la scară largă lasă o urmă de deșeurile, mai slab radioactive, dar tot periculoase. Ce trebuie făcut cu aceste deșeurile este o problemă care încă nu și-a găsit soluția la nivel mondial.

o armă nucleară. Aceasta a coincis cu atacul japonezilor de la Pearl Harbor, iar Roosevelt avea să lanseze curând proiectul bombei nucleare americane, cunoscut drept Proiectul Manhattan. A fost condus de fizicianul Robert Oppenheimer, de la Berkeley, dintr-o bază izolată și secretă aflată la Los Alamos, în New Mexico.

În vara anului 1942, echipa lui Oppenheimer a proiectat mecanismul bombei. Pentru declanșarea reacției în lanț care să ducă la explozie era nevoie de o masă critică de uraniu, care însă trebuia separată înainte de detonare. Au fost preferate două tehnici, un mecanism tip „glonț”, în care o bucată de uraniu era proiectată cu ajutorul explozibililor convenționali într-o alta, pe care o completa până la masa critică, și un mecanism cu „implozie”, în care explozibili convenționali făceau o pătură sferică de uraniu să se prăbușească peste un miez de plutoniu.

Uranul există în două forme, sau izotopi, ale căror nuclee au numere diferite de neutroni. Izotopul cel mai cunoscut, Uraniu-238, apare de zece ori mai frecvent decât celălalt, Uraniu-235. Uranul-235 este cel mai eficient pentru o bombă cu fisiune, așa că uraniul natural este îmbogățit până la transformarea în U-235. Când U-235 primește un neutron, se transformă în plutoniu-239. Plutonul-239 este instabil, iar ruperea lui produce și mai mulți neutroni pe gram, așa că introducerea plutonului poate declanșa reacția în lanț. Metoda glonțului a fost folosită, cu uraniu îmbogățit, la construirea primului tip de bombă, care a fost numită „Little Boy”, „Băiețelul”. A fost construită și bomba în formă de sferă cu implozie, care folosea plutoniu și care a primit numele „Fat Man”, „Grăsorul”.

Pe 6 august, „Little Boy” a fost lansată deasupra orașului Hiroshima. Trei zile mai târziu, „Fat Man” a distrus Nagasaki. Fiecare bombă a eliberat echivalentul a 20 000 de tone de dinamită. Între 70 000 și 100 000 de oameni au murit pe loc și de două ori mai mulți în anii care au urmat.

**” M-AM GÂNDIT CĂ ZIUA
ACEASTA AVEA SĂ ÎNTRÉ CA O ZI
NEAGRĂ ÎN ISTORIA UMANITĂȚII..
ERAM CONȘTIENT ȘI DE FAPTUL
CĂ TREBUIA FĂCUT CEVA DACĂ
GERMANII CONSTRUIAU BOMBA
ÎNAINTEA NOASTRĂ.. AVEAU
OAMENI CARE SĂ FACĂ ASTA..
NU AM AVUT DE ALES SAU AM
CREZUT CĂ NU AVEAM
DE ALES. “**

Leslie S. Kopp, 1898–1964

Idee de bază ruperea atomului

35 Fuziunea nucleară

Toate elementele din jur, inclusiv cele din corpul nostru, sunt produsul fuziunii nucleare. Fuziunea alimentează cu energie stele cum este Soarele, în care sunt produse toate elementele mai grele decât hidrogenul. Suntem cu adevărat făcuți din praf de stele. Dacă putem stăpâni puterea stelelor aici, pe Pământ, fuziunea ar putea fi cheia pentru energie nepoluantă și nelimitată.

**” VĂ GER SĂ PRIVIM
ÎN AMBELE SENȘURI.
PENTRU CĂ DRUMUL SPRE
CUNOAȘTEREA STELELOR
TRECE PRIN ATOM; ȘI
CUNOȘȚINȚE IMPORTANTE
DESPRE ATOM AU FOST
OBTINUTE DIN CERCETAREA
STELELOR. “**

Sir Arthur Eddington, 1928

Fuziunea nucleară constă în imbinarea nucleelor unor atomi ușori pentru a forma unele mai grele. Dacă sunt presate suficient de puternic, nucleele de hidrogen se pot combina ca să formeze heliul, iar, în acest proces, se eliberează energie - foarte multă energie. Progresiv, construind nuclee din ce în ce mai grele

printr-o serie de reacții de fuziune, toate elementele pe care le vedem în jurul nostru pot fi create pornind de la zero.

Sîrîngire puternică Fuzionarea chiar și a celor mai ușoare nuclee, cum este hidrogenul, este extrem de dificilă. Este nevoie de temperaturi și de presiune enormă, așa că fuziunea se produce în mod natural doar în locuri extreme, cum ar fi Soarele și alte stele. Pentru ca două nuclee să fuzioneze, trebuie învinse forțele care îl țin laolaltă pe fiecare din ele. Nucleele sunt formate din protoni și neutroni, legați împreună de forța nucleară tare. Această forță tare este dominantă la scara minuscule a nucleului și este mult mai slabă în afara nucleului. Deoarece protonii sunt încărcati electric pozitiv,

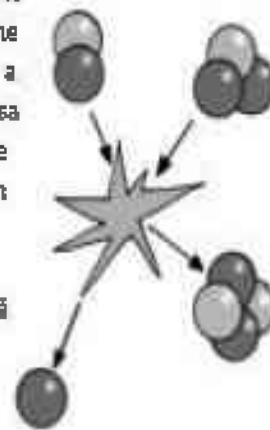
sarcinile lor electrice se resping una pe alta și, în același timp, tind să îi separe. Dar legătura forței nucleare tari este mai puternică, așa că nucleul rămâne strâns la un loc.

Deoarece forța nucleară tare acționează pe o rază atât de mică și de bine determinată, ea este mai intensă pentru nucleele mici decât pentru cele mari. Pentru un nucleu

CRONOLOGIE

1920 d.Hr.	1932	1939
Eddington aplică stelelor ideea de fuziune.	Fuziunea hidrogenului este demonstrată în laborator.	Hans Bethe descrie procesele de fuziune stelară.

mare, cum este cel de uraniu, cu 238 de nucleoni, atracția reciprocă nu este atât de puternică între nucleonii aflați de părți opuse ale nucleului. Pe de altă parte, forța de respingere electrică acționează încă la distanțe mai mari și devine, așadar, mai puternică pentru nucleele grele, deoarece se întinde pe tot nucleul. Ea este intensificată și de numărul mai mare de sarcini pozitive pe care le conține acesta. Efectul net al acestor influențe este că energia necesară pentru a lega nucleul laolaltă, raportată la numărul de nucleoni, crește odată cu masa atomică până la elementele nichel și fier, care sunt foarte stabile, și apoi scade din nou pentru nuclee mai mari. Așadar, fisiunea se produce relativ ușor în cazul nucleeor mari, care pot fi „sparte” și de o lovitură minoră.



Pentru fuziune, bariera de energie care trebuie depășită este cea mai mică pentru izotopii de hidrogen, care conțin un singur proton. Hidrogenul există în trei versiuni: atomul de hidrogen „normal” conțin un singur proton orbitat de un singur electron; deuteriul, sau hidrogenul greu, are un proton, un electron, dar și un neutron; tritiul are în plus doi neutroni, deci este și mai greu. Cea mai simplă reacție de fuziune este, așadar, combinarea hidrogenului și a deuteriului ca să formeze tritiu, plus un neutron izolat. Deși este cea mai simplă, pentru realizarea ei ar fi nevoie de temperaturi uriașe, de 800 de milioane de kelvini (motiv pentru care tritiul este destul de rar).

Reactorii de fuziune Fizicienii încearcă să reproducă aceste condiții extreme în reactoarele de fuziune, ca să producă energie. Ei mai au, însă, de lucru decenii întregi, până să pună metoda în practică. Chiar și cele mai avansate dispozitive de fuziune consumă mai multă energie decât produc, cu multe ordine de mărime.

Reactoarele de fuziune sunt Sfântul Graal al producerii de energie. În comparație cu tehnologia bazată pe fisiune, reacțiile de fuziune sunt relativ nepoluante și, dacă ar fi să funcționeze, foarte eficiente. Este nevoie de foarte puțini atomi pentru producerea unor cantități uriașe de energie (conform ecuației lui Einstein, $E=mc^2$), ar rezulta cantități foarte mici de deșeurii și în nici un caz ceva atât de periculos cum sunt elementele ultragrele ce rămân din reactoarele de fisiune.

1946/1954

Fred Hoyle explică producerea elementelor mai grele.

1957

Burbidge, Burbidge, Fowler și Hoyle publică o lucrare celebră despre nucleosinteză.

Fuziune la rece

În 1989, lumea științifică a fost zguduită de o revendicare controversată. Martin Fleischmann și Stanley Pons au anunțat că au efectuat fuziunea nucleară, dar nu într-un reactor cald, ci într-o cameră de testare trecând curent electric printr-un recipient cu apă grea (ai cărei atomi de hidrogen sunt înlocuiți de deuteriu), cei doi considerau că au creat energie prin fuziune „la rece”. Ei au spus că din experimentul lor a rezultat mai multă energie decât s-a consumat, deoarece s-a produs fuziunea. Anunțul lor a făcut vală. Cei mai mulți oameni de știință erau

de părere că Fleischmann și Pons au greșit când au calculat echilibrul energetic, dar problema nu este tranșată nici în ziua de azi. Dizidenți au apărut și alții care au susținut că realizaseră fuziunea în laborator în 2002. Rudi Inleyarkhan a afirmat că fuziunea s-ar afla în spotele suno-luminescenței, fenomen care face ca bulele dintr-un lichid să emită lumină atunci când sunt bombardate (și încălzite) rapid cu ultrasunete. Știința încă nu s-a pronunțat definitiv dacă fuziunea poate fi într-adevăr realizată în laborator, într-o scrubulă.

Obținerea energiei electrice din fuziune nu produce nici gaze de seră și promite o sursă de energie regenerabilă, de încredere, cu condiția să poată fi fabricat combustibilul reacției, hidrogenul și deuteriul. Dar nici această energie nu este perfectă și va produce și ea unele deșeurile radioactive, cum sunt neutronii care ar fi eliberați în reacțiile principale și care trebuie „curățați”.

Date fiind temperaturile foarte înalte implicate, principala dificultate este controlul gazelor extrem de fierbinți, prin urmare, deși fuziunea a fost realizată, aceste dispozitive uriașe pot funcționa doar câteva secunde odată. Ca să încerce și să depășească următoarea barieră tehnologică, o echipă internațională de oameni de știință colaborează la construirea unui reactor de fuziune și mai mare, în Franța, numit Reactor Experimental Termonuclear Internațional (ITER), care va testa dacă fuziunea poate fi utilizată în scop comercial.

Praf de stele Stelele sunt reactoarele de fuziune ale naturii. Fizicianul german Hans Bethe a descris cum strălucesc acestea prin convertirea nucleelor de hidrogen (protoni) în nuclee de heliu (doi protoni și doi neutroni). În procesul de transfer sunt implicate particule suplimentare (pozitroni și neutrini), astfel încât doi dintre protonii originali sunt transformați în neutroni.

În interiorul stelelor, elementele mai grele sunt construite treptat, în pași, prin fuziuni repetate, ca după o rețetă. Nuclee din ce în ce mai mari sunt construite printr-o succesiune de „arderi”, mai întâi hidrogen, apoi heliu, apoi alte elemente

mai ușoare decât fierul și, la urmă, elemente mai grele decât fierul. Stelele de tipul Soarelui strălucesc deoarece în ele fuzionează în cea mai mare parte hidrogen care se transformă în heliu, iar aceasta se întâmplă suficient de lent pentru ca elementele grele să fie fabricate în cantități foarte mici. În stelele mai mari, această reacție este accelerată de implicarea elementelor carbon, azot și oxigen, în fuziuni ulterioare. Așadar, mai multe elemente grele sunt produse mai repede. Odată ce apare heliul, din acesta se poate produce carbon (prin fuziunea a trei atomi de heliu-7, via instabilul beriliu-8). Odată ce s-a produs naște carbon, acesta se poate combina cu heliul, pentru producerea de oxigen, neon și magneziu. Aceste transformări lente ocupă cea mai mare parte din viața unei stele. Elementele mai grele decât fierul sunt produse în reacții ușor diferite, construind gradual secvențele de nuclee, conform tabelului periodic.

” SUNTEM BUCĂȚI DE MATERIE STELARĂ CARE S-A RĂCIT ACCIDENTAL, BUCĂȚI DINTR-O STEA CARE A EȘUAT. “

Sir Arthur Eddington,
1882-1944

Primele stele Unele dintre primele elemente ușoare nu au fost create în stele, ci chiar în mingea de foc a Big Bangului original. La început, universul era atât de fierbinte, încât nici măcar atomii nu erau stabili. Primul s-au condensat atomii de hidrogen, împreună cu o cantitate mică de heliu, litiu și beriliu. Acestea au fost primele ingrediente pentru stele și orice altceva. Toate elementele mai grele au fost create în interiorul stelelor și în jurul lor, apoi au fost proiectate în spațiu de stelele care au explodat, numite supernove. Totuși, nici acum nu știm exact cum s-au aprins primele stele. Prima stea care a existat vreodată nu a conținut deloc elemente mai grele, ci doar hidrogen, așadar nu avea cum să se răcească suficient de repede ca să intre în colaps și să-și declanșeze reacția de fuziune. Colapsul sub influența gravitației face hidrogenul gazos să se încălzească excesiv și să se destindă. Elementele grele îl pot ajuta să se răcească prin iradiere de lumină. După ce a existat o primă generație de stele și elementele produse de ele au fost proiectate în spațiu de către supernove, formarea stelelor este ușor de explicat. Dar explicația formării primei stele, urmată destul de repede de altele asemănătoare, rămâne și astăzi o provocare pentru teoreticieni.

Fuziunea este o sursă fundamentală de energie în univers. Grijile noastre ar lua sfârșit dacă am stăpâni enorma energie a stelelor. Dar nu este deloc ușor.

Idee de bază
energia din stele

36 Modelul standard

Protonii, neutronii și electronii sunt doar vârful aisbergului în fizica particulelor. Protonii și neutronii sunt constituiți din și mai măruntele quarcuri, electronii sunt însoțiți de neutrini, iar forțele acționează prin intermediul unei întregi suite de bosoni, printre care și fotonii. „Modelul standard” adună toată această diversitate de particule într-un singur arbore genealogic.

Pentru grecii din Antichitate, atomii erau cele mai mici componente ale materiei. Abia la sfârșitul secolului al XIX-lea au fost identificate în atomi ingrediente și mai mici, mai întâi electronii, apoi protonii și neutronii. Dar sunt aceste trei particule ultimele „cărămizi” din care este constituită materia?

Ei bine, nu. Chiar și protonii și neutronii au o structură granulară. Ei sunt formați din particule și mai mici, numite quarcuri. Și asta nu este tot. Așa cum fotonii transportă forțe electromagnetice, mulți și mulți de alte particule transmit celelalte

forțe fundamentale. Electronii sunt indivizibili, cel puțin din ceea ce știm acum, dar ei sunt însoțiți de neutrini aproape lipsiți de masă. De asemenea, particulele au omoloagele lor din antimaterie. Toate acestea sună destul de complicat, dar această pletoară de particule poate fi înțeleasă într-un singur cadru, numit modelul standard din fizica particulelor.

Săpături La începutul secolului XX, fizicienii știau că materia este făcută din protoni, neutroni și electroni. Niels Bohr a descris cum, prin intermediul teoriei cuantice, electronii se aranjează în pături sferice în jurul nucleelor, ca orbitele planetelor în jurul Soarelui.

” CHIAR DACĂ EXISTĂ O SINGURĂ TEORIE UNIFICATĂ POSIBILĂ, ACEASTA ESTE DOAR UN SET DE REGULI ȘI DE ECUAȚII. DAR CE ANUME INSUFLĂ VIAȚĂ ACESTOR ECUAȚII ȘI CREEAZĂ UN UNIVERS PE CARE ELE SĂ-L POATĂ DESCRIE? ”

Stephen Hawking, 1983

CRONOLOGIE

cca 400 î.Hr.

Democrit propune ideea de atom.

1930 d.Hr.

Wolfgang Pauli prezice existența neutrinelui.

Proprietățile nucleului erau și mai ciudate. Cu toate sarcinile lor pozitive care ar fi trebuit să se respingă, nucleul găzduia zeci de protoni, comprimați împreună cu neutronii într-un minuscule miez tare, încheiat de forța nucleară tare. Dar, pe măsură ce s-au aflat mai multe despre radioactivitate din modul în care nucleele se rupeau (prin fisurare) sau se uneau (prin fuziune), a devenit clar că mai sunt multe fenomene care trebuie explicate.

În primul rând, arderea hidrogenului în Soare și transformarea lui în heliu, prin fuziune, implică o altă particulă, neutrino, care transformă protonii în neutroni. În 1930, existența neutrinoilor a fost propusă pentru a explica dezintegrarea neutronului într-un proton și un electron – dezintegrare beta radioactivă. Neutrinoii însuși nu au fost detectați până în 1956, fiind o particulă practic fără masă. Așadar, chiar și anii 1930 mai erau multe aspecte care așteptau explicații. Acestea au început să vină în anii 1940 și 1950, când au fost cercetate alte particule.

Din aceste investigații a evoluat modelul standard, care este un fel de arbore genealogic al particulelor subatomice. Există trei tipuri de bază de particule fundamentale, „hadronii”, construiți din „quarcii”, „leptonii”, care includ și electronii, și, în cele din urmă, bosonii, particule care transmit forțe, în această categorie de particule intrând fotoni. Fiecare dintre quarcii și leptonii îi corespunde, bineînțeles, o antiparticulă.

Quarcurile În anul 1960, fizicienii care studiau bombardarea cu electroni a protonilor și a neutronilor și-au dat seama că în interiorul acestora din urmă se aflau particule și mai mici, numite quarcuri. Quarcurile există în trei variante, putând avea trei „culori”: roșu, albastru și verde. Tot așa cum electronii și protonii transportă sarcini electrice, quarcurile transportă „sarcină de culoare”, care se conservă atunci când quarcurile se schimbă de la un tip la altul. Sarcina de culoare nu are nimic de-a face cu culorile din spectrul vizibil al luminii – doar că a fost nevoie

Quarcurile

Quarcurile au fost numite astfel după o frază folosită de James Joyce în romanul său *Vagheșii din Fynegon* pentru a descrie ppelele pescărești. El a scris că pescărușii au 1000 „trei quarcuri”, sau trei strigăte de bucurie.

1956

Sunt detectați neutrinoii.

anii 1960

Se propune ideea de quarc.

1995

Este descoperit quarcul top, sau „quarcul t”.

ca fizicienii să fie inventivi și să găsească un mod arbitrar de a numi bizarele proprietăți cuantice ale quarcurilor.

” **ELEMENTUL CREATIV
DIN MINTEA OMENEASCĂ...
SE MANIFESTĂ LA FEL
DE MISTERIOS CA ACELE
PARTICULE.** “

Sir Arthur Eddington, 1928

Tot așa cum sarcinile electrice produc o forță, sarcinile de culoare (quarcurile) pot exercita forțe una asupra alteia. Forța de culoare este transmisă printr-o particulă de forță numită „gluon”. Forța de culoare crește pe măsură ce quarcurile se depărtează, așadar acestea sunt lipite ca și cum ar fi strânse cu un elastic invizibil. Deoarece legăturile din câmpul forței de culoare sunt atât de puternice, quarcurile nu pot exista pe cont propriu și trebuie să formeze combinații neutre din punctul de vedere al culorii (să nu aibă sarcină totală de culoare). Posibilitățile includ grupuri de trei numite barioni („bazi” însemnând greu), ce formează protoni și neutroni normali, sau perechi quarc-antiquarc (numite mezozi).

La fel cum au sarcină de culoare, quarcurile prezintă și șase tipuri de „arome”. Trei perechi de quarcuri formează generații cu mase din ce în ce mai mare. Cele mai ușoare sunt quarcurile „up (sus, u)” și „down (jos, d)”; urmează „strange (straniu, s)” și „charm (farmec, c)”; în cele din urmă, quarcurile „top, t” și „bottom (bază, b)” formează cea mai grea pereche. Quarcurile up, charm și top au sarcina electrică $+2/3$, iar quarcurile down, strange și bottom au sarcina $-1/3$. Așadar, quarcurile au sarcini electrice fracționare, comparativ cu $+1$ pentru protoni și -1 pentru electroni. Este nevoie, deci, de trei quarcuri pentru a forma un proton (doi up și unul down) sau un neutron (doi down și unul up).

Leptonii A doua clasă de particule, leptonii, este înrudită cu electronii și îi includ și pe aceștia. Avem și aici trei generații cu mase din ce în ce mai mari: electronii, muonii și tauonii. Muonii sunt de 200 de ori mai grei decât un electron, iar tauonii de 3 700 de ori mai grei. Leptonii au toți sarcini electrice unitare negative. Ei au, de asemenea, o particulă asociată numită neutrîn (electron-, muon- și tau-neutrîn), care nu are sarcină electrică. Neutrînii nu au aproape deloc masă și nu interacționează prea mult cu nimic. Ei pot traversa tot Pământul fără să lase vreo urmă, așa că sunt greu de prins. Toți leptonii au antiparticule.

Interacțiuni Forțele fundamentale acționează prin schimburi de particule. Așa cum undele electromagnetice pot fi concepute ca un flux de fotoni, forța nucleară slabă poate fi concepută ca fiind intermediată de particulele W și Z, în timp ce forța

nucleară tare se transmite prin intermediul gluonilor. Ca și fotonul, aceste particule sunt fermioni, care pot exista toți simultan, în aceeași stare cuantică. Quarcurile și leptonii sunt fermioni și nu pot.

Ciocnirea particulelor În a doua jumătate a secolului XX, fizicienii au aflat detalii despre ce se petrece în interiorul atomilor și al particulelor folosind forța brută, adică sfărâmându-i. Fizica particulelor a fost descrisă ca a lua un ceas elvețian complicat, a-l zdrobi cu un ciocan și a studia apoi cioburile ca să îți dai seama cum funcționează. Acceleratoarele de particule folosesc magneti gigantici pentru a accelera particulele până la viteze extrem de mari, iar apoi proiectează fasciculul respectiv de particule într-o țintă sau într-un alt fascicul de particule venind din sens opus. La viteze modeste, particulele sunt eliberate doar generațiile cele mai ușoare de particule. Deoarece masa înseamnă energie, este nevoie de un flux de particule cu energie foarte mare pentru a elibera generațiile ulterioare (mai grele) de particule.

Specialiștii fotografiază traiectoriile particulelor la trecerea printr-un câmp magnetic, identificându-le astfel. În câmpul magnetic, particulele încărcate pozitiv deviază într-o parte, iar cele cu sarcini negative în cealaltă. Masa particulelor dictează și ea cât de repede trec prin detector și cât de curbată este traiectoria prin câmpul magnetic. Traiectoria particulelor ușoare abia se curbează, iar particulele mai grele pot chiar să evolueze în spirale. Prin determinarea acestor caracteristici în detector și compararea lor cu ceea ce se așteaptă din teorie, fizicienii pot spune ce particulă este fiecare.

Gravitația este singura neinclusă deocamdată în modelul standard. A fost postulată existența „gravitonului”, sau particula care transportă forța gravitațională, dar numai ca idee. Nu există încă nici o dovadă fizică a existenței unei granularități în gravitație. Unii fizicieni încearcă să includă gravitația în modelul standard prin ceea ce ar fi marea teorie unificată a câmpurilor, dar mai au drum lung până la reușită.

		Fermioni		
Quarci		u up	c charm	t top
		d down	s strange	b bottom
Leptoni		e electron	μ muon	τ tau
		ν_e neutrino electronic	ν_μ neutrino muonic	ν_τ neutrino tauonic
		Bosoni		
Forțe fundamentale de forță		γ foton		
		W boson W		
		Z boson Z		
		g gluon		
		H boson Higgs		

Idee de bază
totul în familie

37 Diagramele Feynman

Diagramele Feynman sunt niște schițe inteligente care pot fi folosite ca prescurtare în rezolvarea ecuațiilor complicate din fizica particulelor. Fiecare interacțiune de particule poate fi desenată cu ajutorul a trei săgeți care se întâlnesc într-un punct, două dintre ele marcând particulele care intră și ies, iar cea de-a treia indicând particula care transportă forța. Punând laolaltă mai multe astfel de schițe, fizicienii pot calcula probabilitățile de producere a interacțiunilor.

Richard Feynman a fost un californian charismatic, specialist în fizica particulelor, celebru nu doar pentru cunoștințele lui de specialitate și pentru că era un vorbitor foarte bun, ci și pentru talentul cu care bătea la tobele bongo. Pentru a descrie interacțiunile particulelor, el a inventat un nou limbaj simbolic care, datorită simplității lui, este folosit de atunci fără oprire.

Ca prescurtare pentru complicatele ecuații matematice, Feynman, pur și simplu, a desenat săgeți. O săgeată reprezintă particula care sosește, o alta particula care pleacă, iar a treia săgeată, cu coada șerpuită, indică interacțiunea. Astfel, orice interacțiune dintre două particule poate fi reprezentată ca trei săgeți care se întâlnesc într-un punct sau vârf. Interacțiunile mai complicate pot fi construite din câteva astfel de forme.

Diagramele Feynman sunt mai mult decât niște simple unelte grafice. Ele nu doar că îi ajută pe fizicieni să arate mecanismele prin care interacționează particulele subatomice, dar desenarea lor îi ajută totodată pe fizicieni să calculeze probabilitatea ca interacțiunea respectivă să aibă loc.

CRONOLOGIE

1927 d.Hr.

Încep cercetările privind teoria cuantică a câmpurilor.

anii 1940

Se dezvoltă electrodinamica cuantică.

Feynman a fost atât de captivat de diagramele lui, încât și în-a pictat pe lateralele dubitei. Când clovele îl întreba de ce, răspundea simplu: „pentru că sunt Richard Feynman”.

Schilele Diagramele Feynman zugrăvesc interacțiunile particulelor folosind o serie de săgeți pentru a arăta traiectoriile particulelor implicate. Diagramele sunt desenate, de obicei, astfel încât timpul crește către dreapta. Așadar, electronii care vin sau pleacă vor fi desenați ca niște săgeți care arată spre dreapta. Ele sunt, de regulă, înclinate, pentru a indica mișcarea. Pentru antiparticule, deoarece acestea sunt echivalente cu particule reale care se deplasează înapoi în timp, săgețile arată înapoi, de la dreapta spre stânga. Iată câteva exemple.

Această diagramă ar putea reprezenta un electron care emite un foton. Electronul care vine (săgeata din stânga) suferă la intersecția celor trei linii o interacțiune electromagnetică din care rezultă un alt electron, care pleacă (săgeata din dreapta) și un foton (linia șerpuită). Particula ca atare nu este specificată - doar mecanica interacțiunii. La fel de bine ar putea fi un proton care emite un foton.



Aici electronul care vine sau altă particulă absoarbe un foton, pentru a produce un al doilea electron, cu energie mai mare.



Acum săgețile sunt inversate, așadar, acestea trebuie să fie antiparticule. Această diagramă ar putea să se refere la un antielectron sau pozitron (săgeata din stânga) care absoarbe un foton ca să producă un alt pozitron (săgeata din dreapta).



Iar aici un electron și un pozitron se combină și se anihilează, ca să genereze un foton de energie pură.



Două sau mai multe intersecții triple pot fi combinate pentru a arăta o succesiune de evenimente. Aici o particulă și o antiparticulă se anihilează ca să creeze un foton, care apoi se dezintegrează într-o altă pereche particulă-antiparticulă.



1945

Sunt proiectate și folosite bombele atomice.

1975

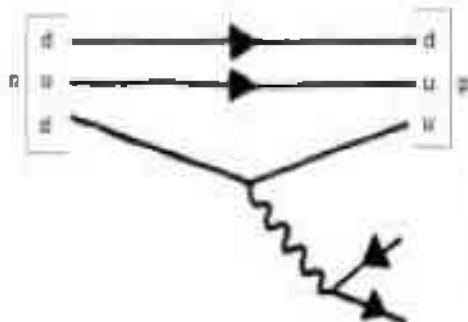
Este propusă cromodinamica cuantică.

Richard Feynman 1918–1988

Richard Feynman a fost un fizician strălucit și excentric. A obținut nota maximă la examenul de admitere la facultate, la Princeton, și a strâns atenția unor confrați ca Einstein. Cercetător de rang inferior în Proiectul Manhattan, Feynman susținea că văzuse cu ochii lui explozia de testare, spunându-și că era în siguranță dacă se uita prin sticle unui parbriz, deoarece aceasta ar fi blocat radiațiile ultraviolete. Pictivist și izolat în degetul din la Los Alamos, Feynman soarsea incerturile fizicilor cu documente, ghicind numerele pe care fizicienii le alegeau pentru cifră, cum ar fi constanta $\pi = 2,71828$. El le făcea bilețele, în gumă, dar colegii lui nu începuseră să își facă griji că aveau în mijlocul lor un spion. Tot atunci a început să bată la tobe, ca să se distreze ceea ce i-a atras reputația de excentric. După război, Feynman s-a mutat la Caltech, unde îi

plăcea să predene și a fost supranumit „Marele explicator”. A scris mai multe cărți printre care și faimoasa *Feynman Lectures on Physics*. A făcut parte din comisia care a anchetat explozia navei spațiale Challenger și și-a spus, ca de obicei, părerea, fără ocolișuri. Cercetările sale s-au centrat pe dezvoltarea electrodinamicii cuantice, fizicii superfluidelor și forței nucleare slabe. Mai târziu, a pus bazele informaticii cuantice și nanotehnologiei, la un seminar numit „There's plenty of room at the bottom” („Este loc destul la bază”). Feynman a avut spiritul aventurii și i-a plăcut să călătorească. Primit la simboluri, a încercat chiar să descifreze hieroglifele mayașe. Colegul lui fizician Freeman Dyson a scris, la un moment dat, că Feynman era „jumătate geniu, jumătate bufon”, dar ulterior și-a revizuit descrierea în „geniu latel, bufon total”.

Aceste intersecții pot fi folosite pentru a reprezenta multe tipuri diferite de interacțiuni. Ele pot fi folosite pentru orice particule, inclusiv quarcuri și leptoni, și interacțiunile care corespund forței electromagnetice, nucleare slabe sau tare. Ele respectă, toate, unele reguli de bază. Energia trebuie să se conserve, săgețile care intră și pleacă în diagramă trebuie să fie particule reale (ca protonii sau neutronii, și nu quarcuri libere, care nu pot exista izolat), dar în stadiile intermediare pot fi implicate particule subatomice și particule virtuale, cu condiția ca toate acestea să fie transformate până la sfârșit în particule reale.



Această imagine descrie dezintegrarea beta radioactivă. La stânga este un neutron, compus din două quarcuri „down” și un quarc „up”. În interacțiune, el este transformat într-un proton, format din două quarcuri up și un quarc down, plus un electron și un antineutrino. Se produc două interacțiuni. Un quarc down din neutron se transformă într-un quarc up, producând un boson W (reprezentat ca o linie

perpuită), transmitătorul forței nucleare slabe. Bosonul W se dezintegrează într-un electron și un antineutrino. Bosonul W nu apare printre produsele interacțiunii, dar este implicat în stadiul intermediar.

Probabilitatea Aceste diagrame nu sunt doar prescurtări convenabile pentru vizualizarea interacțiunilor – în același timp, ele ne pot spune cât de probabile sunt interacțiunile respective. Sunt reprezentări matematice edificatoare ale unor ecuații complicate. În încercarea de a stabili cât de probabilă este o interacțiune, trebuie să știți în câte moduri se poate ajunge acolo. Acesta este momentul în care intră în joc diagramele. Dacă desenați toate variantele diferite de interacțiune, toate modurile în care se ajunge de la un set de date de intrare la un set de rezultate finale prin interacțiuni multiple, vă puteți da seama cât de probabilă este fiecare dintre ele printr-o simplă numărare.

QED Feynman a inventat diagramele în timp ce lucra la elaborarea electrodinamicii cuantice (QED). În anul 1940. Ideea de bază a QED este asemănătoare cu principiul lui Fermat pentru propagarea luminii: lumina urmează toate drumurile posibile, dar cea mai probabilă este calea cea mai rapidă, pe care cea mai mare parte a undelor luminoase se propagă în fază. Aplicarea unei idei similare la câmpurile electromagnetice a dus, după 1927, la teoria cuantică a câmpurilor, apoi la QED.

QED descrie interacțiunile electromagnetice, mediate de schimbul de fotoni, așadar mecanica cuantică este combinată aici cu o descriere a câmpului electric și a particulelor subatomice. Încercarea de a estima probabilitățile tuturor interacțiunilor posibile l-a condus pe Feynman la notația lui grafică. După QED, fizicienii au extins metoda ca să acopere câmpul forțelor de culoare, în cazul quarcilor, o teorie pe care au numit-o cromodinamica cuantică sau QCD. QED a fost extinsă la forța nucleară slabă, într-o variantă combinată de forță „electroslabă”.

Șchița asemănătoare cu cea ale lui Feynman nu l-a fost folosită de specialistul în fizica particulelor John Ellis, care l-a numit „diagrame pingvin”, după un pariu pus cu studenții lui, într-un bar: dacă pierdea la jocul de darts, în următoarea lui locuire științifică trebuia să folosească și cuvântul „pingvin”. Diagramele lui erau aranjate vertical în pagină, iar lui l s-a părut că seamănă puțin cu rășta pingvinului.

Idee de bază
abordarea cu trei săgeți

38

Particula lui Dumnezeu

În timp ce se plimba prin munții Scoției, în 1964, fizicianul Peter Higgs s-a gândit la o modalitate de a le asocia particulelor o masă. A numit-o „marea lui idee”. Particulele par mai masive deoarece sunt încetinite la trecerea printr-un câmp de forțe, cunoscut acum drept câmpul Higgs. El este purtat de bosonul Higgs, pe care laureatul Premiului Nobel, Leon Lederman, l-a numit „particula lui Dumnezeu”.

De ce are orice corp o masă? Un camion este greu deoarece conține o mulțime de atomi, dintre care fiecare poate fi și el relativ greu. Fotoni transportă informația în interacțiunile electromagnetice, gluoni leagă quarcurile prin forța nucleară tare, iar bosonii W și Z poartă forțele nucleare slabe. Dar fotoni nu au masă, pe când bosonii W și Z sunt particule masive, de sute de ori mai mari decât protonii. De ce sunt atât de diferite? Această discrepanță era și mai izbitoră, dat fiind faptul că teoriile forței electromagnetice și ale forței nucleare slabe puteau fi combinate într-o forță electroslabă. Dar această teorie nu prezicea că particulele purtătoare ale forțelor nucleare slabe, bosonii W și Z, ar trebui să aibă masă. Ei ar trebui să fie exact ca protonii, lipsiți de masă. Orice alte combinații de forțe fundamentale, încercate de marea teorie unificată a câmpurilor, s-au lovit de aceeași problemă. Particulele purtătoare de forțe nu ar trebui să aibă masă. De ce nu sunt atunci toate ca fotonii?

Mișcarea cu încetinitorul Marea idee a lui Higgs a fost să imagineze aceste purtătoare de forță ca fiind încetinite la trecerea printr-un câmp elementar de forțe. Numit acum câmpul Higgs, acesta operează, de asemenea, prin transferul de bosoni, numiți bosoni Higgs. Imaginați-vă că lăsați o mărgea să cadă

CRONOLOGIE

1687 d.Hr.

Newton enunță, în *Principia*, ecuațiile pentru masă.

1964

Higgs intuiește ce anume dă masă particulelor.

Într-un pahar, îi va lua mai mult să ajungă pe fundul paharului dacă acesta este umplut cu apă decât dacă este gol, plin doar cu aer. Este ca și cum mărghica ar fi mai grea când se află în apă – gravitației îi la mai mult să o tragă în jos prin lichid. Același lucru se aplică picioarelor voastre atunci când mergeți prin apă – le simțiți mai grele și mișcarea vă este încetinită. Mărghica poate fi încetinită și mai mult, dacă este lăsată să cadă prin sirop, în care va avea nevoie de ceva mai mult timp ca să se scufunde. Câmpul Higgs acționează într-un mod similar, exact la fel ca un lichid vâscos. Forța Higgs încetinește celelalte particule purtătoare de forțe, conferindu-le efectiv o masă. Ea acționează mai puternic asupra bosonilor W și Z decât asupra fotonilor, făcându-i să pară mai grei.

” ERA EVIDENT CĂ IPOTEZA TREBUIA TESTATĂ PE CEA MAI SIMPLĂ TEORIE ETALON, ELECTRODINAMICA - SĂ-I RUPEM SIMETRIA CA SĂ VEDEM CE SE ÎNTÂMPLĂ CU ADEVĂRAT. ”

Peter Higgs, în 1979

Câmpul Higgs seamănă destul de mult cu un electron care se deplasează printr-o structură cristalină de nuclee cu sarcină pozitivă, cum ar fi un metal. Electronul este încetinit puțin, deoarece este atras de toate sarcinile pozitive, astfel încât pare mai masiv decât în absența acestor ioni. Aceasta este forța electromagnetică în acțiune, intermediată de fotoni. Câmpul Higgs acționează în mod similar, dar bosonii Higgs sunt cei care poartă forța. Vă puteți imagina, de asemenea, o vedetă de cinema care sosește la o petrecere cu mulți invitați. Vedeta va descoperi că nu-i este deloc ușor să traverseze sala, din cauza tuturor interacțiunilor sociale care o încetinesc.

Dacă, însă, câmpul Higgs este cel care conferă masă celorlalți bosoni purtători de forță, care este masa bosonului Higgs? Și cum își capătă acesta propria masă? Nu este o situație de genul ce a fost mai întâi, oul sau găina?

Din păcate, teoriile nu prezic masa bosonului Higgs însuși, deși prezic necesitatea existenței acestuia în cadrul modelului standard din fizica particulelor. Așadar,

2007

Este construit marele
accelerator de particule
de la CERN.

Ruperea simetriei în magneti

La temperaturi foarte înalte, toți atomii dintr-un magnet sunt în dezordine, câmpurile lor magnetice interne sunt aleatorii, iar materialul nu este magnetic. Dar, când temperatura scade sub un anumit punct, numit temperatură Curie, toți dipolii magnetici se alinază și produc un câmp magnetic global.

fizicienii se așteaptă să îl vadă, dar nu știu cât de greu va fi acest boson sau când va apărea (nu a fost detectat deocamdată). Date fiind cercetările continue pentru detectarea particulelor cu proprietățile lui, știm că masa bosonului Higgs trebuie să fie mai mare decât energiile atinse experimental până acum. Așadar,

este foarte greu, dar trebuie să așteptăm să aflăm exact cât de greu.

Urmele crimei Noul dispozitiv cu care se încearcă detectarea bosonului Higgs este Large Hadron Collider (LHC), marele accelerator de particule de la CERN, în Elveția. CERN, Consiliul European pentru Cercetare Nucleară (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), este un uniap laborator de fizica particulelor, de lângă Geneva. Aici se află tunele circulare, dintre care cel mai mare are 27 km lungime, la 100 m sub pământ. În LHC, protonii sunt accelerați de magneti uniapi și formează fascicule care se curbează de-a lungul tunelului. Protonii primesc din ce în ce mai multă energie, pe măsură ce parcurg tunelul circular, ajungând să se deplaseze din ce în ce mai repede. Sunt create două fascicule care se mișcă în direcții opuse și care, când protonii ating viteza maximă, sunt proiectate unul în celălalt, astfel încât protonii se ciocnesc frontal. Energiile imense care sunt eliberate duc la apariția temporară a unei serii întregi de particule, care sunt înregistrate de detectoare, la fel ca și produsele dezintegrării lor, dacă au o durată de viață foarte scurtă. Scopul LHC este să găsească urme ale particulei lui Higgs, printre milioanele de „semnături” ale altor particule. Fizicienii știu ce arunde caută, dar tot este foarte greu de găsit. Dacă energiile sunt suficient de mari, bosonul Higgs s-ar putea să apară pentru o fracțiune de secundă, înainte să dispară într-o cascadă de alte particule. Astfel, în loc să „vadă” bosonul Higgs, fizicienii se așteaptă să găsească urmele apariției lui și apoi să pună dovezile cap la cap, ca să-l deducă existența.

Ruperea simetriei Când ar putea să apară un boson Higgs? Și cum se poate ajunge de aici la foton și la alți bosoni? Deoarece bosonul Higgs trebuie să fie foarte greu, el poate să apară doar la energii extrem de mari și, conform principiului incertitudinii al lui Heisenberg (vezi p. 104), chiar și atunci, doar pentru perioade foarte scurte. La începutul universului, teoriile presupun că toate forțele erau

unificate într-o superforță. Pe măsură ce universul s-a răcit, s-au desprins cele patru forțe fundamentale, printr-un proces numit ruperea simetriei.

Chiar dacă ruperea simetriei sună a lucru destul de greu de imaginat, în realitate este ceva destul de simplu. Ea reprezintă punctul în care simetria este înlăturată dintr-un sistem printr-o singură abatere. Un exemplu ar fi o masă rotundă aranjată pentru oaspeți, cu șervete, farfurii și tacâmuri. Ea este simetrică prin aceea că nu contează unde te așezi, masa arată la fel. Dar, dacă o persoană își ridică șervetul de pe masă, simetria a dispărut – poți spune unde te afli, relativ la poziția respectivă. S-a produs astfel ruperea simetriei. Doar acest eveniment unic poate avea efecte radicale – se poate întâmpla ca toți cei așezați în stânga să își ridice și ei șervetul, ca să urmărească primul eveniment. Se poate întâmpla și să-și ridice șervetul cei de partea cealaltă, și atunci se poate produce opusul. Dar întreaga evoluție a evenimentelor este determinată de un eveniment unic, care a declanșat-o. La fel, pe măsură ce universul se răcește, evenimentele pot provoca decuplarea forțelor, una câte una.

Chiar dacă savanții nu detectează bosonul Higgs cu ajutorul LHC, rezultatele vor fi oricum interesante. De la neutrini până la quarcul top, există 14 ordine de mărime a masei pe care modelul standard trebuie să le explice. Acest lucru este greu de făcut chiar și cu bosonul Higgs, care este ingredientul lipsă. Dacă găsim această particulă a lui Dumnezeu, totul va fi în regulă, dar, dacă nu, atunci modelul standard va trebui schimbat. Iar pentru aceasta va fi nevoie de o nouă fizică. Credem că am ajuns să cunoaștem toate particulele din univers – bosonul Higgs este singura verigă lipsă.

Idee de bază
înotând împotriva curentului

39 Teoria stringurilor

Cei mai mulți fizicieni sunt foarte mulțumiți să lucreze cu modelul standard, așa incomplet cum este el, dar alții caută deja o nouă fizică, înainte chiar ca modelul standard să fie confirmat sau infirmat experimental. Printr-o extensie modernă a dualității undă-particulă, un grup de fizicieni încearcă să explice comportamentul particulelor fundamentale, tratându-le nu ca niște sferice dure, ci ca unde pe o coardă vibrantă.

Adeptii teoriei stringurilor (coardelor vibrante) nu se mulțumesc să considere particulele fundamentale – cum ar fi quarcurile, electronii și fotonii – ca niște bulgări invizibili de materie sau de energie. Modelul care le conferă o anumită masă, sarcină electrică sau energie sugerează un alt nivel de organizare. Acești savanți consideră că astfel de modele indică existența unor armonii profunde. Fiecare cantitate de masă sau de energie este un ton armonic al vibrației unei coarde minuscule. Astfel, particulele pot fi concepute nu ca niște bulgări solizi, ci ca niște fâșii care vibrează sau bucle ale unei coarde vibrante. Într-un fel, aceasta este o nouă abordare a pasiunii lui Kepler pentru corpurile solide ideale din punct de vedere geometric. Este ca și cum particulele ar fi toate niște note care sugerează o gamă armonică, interpretată pe o singură coardă.

Vibrații În teoria stringurilor, coardele nu sunt așa cum le știm, să zicem, la o chitară. O coardă de chitară vibrează pe trei dimensiuni ale spațiului sau poate am putea aproxima la două dimensiuni, dacă vibrația este restricționată la un plan pe lungimea coardei, iar apoi în sus și în jos relativ la acesta. Dar stringurile subatomice vibrează într-o singură dimensiune, mai degrabă decât dimensiunea zero a particulelor punctiforme. Mișcarea lor nu ne este vizibilă, dar, pentru partea matematică, savanții calculează vibrațiile stringurilor în mai multe dimensiuni.

CRONOLOGIE

1921 d.Hr.

Este propusă teoria Kaluza-Klein, pentru a unifica electromagnetismul și gravitația.

1970

Yoichiro Nambu descrie forța nucleară tare cu ajutorul stringurilor din mecanica cuantică.

până la 10 sau 11. Lumea în care trăim are trei dimensiuni spațiale, la care se adaugă încă una, temporală. Dar teoreticienii stringurilor cred că s-ar putea să mai existe multe altele pe care nu le vedem, dimensiuni care sunt încolăcite astfel încât nu le observăm. Aceste alte lumi sunt cele în care vibrează stringurile asociate particulelor.

Stringurile pot fi curbe deschise sau închise, dar sunt identice din toate celelalte puncte de vedere. Așadar, diversitatea particulelor fundamentale la naștere doar din modelul vibrației stringului, din armonicile lui, nu din materialul propriu al stringului.

O idee extraordinară Teoria stringurilor este, în întregime, o teorie matematică. Nimeni nu a văzut vreodată un string și nimeni nu știe cum am putea să aflăm dacă există cu adevărat așa ceva. Așadar, nu există deocamdată experimente pe care să le fi conceput cineva ca să verifice dacă teoria este adevărată sau nu. Se spune că există la fel de multe teorii ale stringurilor câtă teoreticienii ai stringurilor există. Aceasta pune teoria într-o postură nefavorabilă printre oamenii de știință.

Filosoful Karl Popper considera că știința merge înainte în principal prin falsificare. Îți vine o idee, o teză printr-un experiment, iar, dacă este falsă, atunci exclude ceva, așadar, oricum afli ceva nou și știința progresează. Dacă observația se potrivește cu modelul, atunci nu ai învățat nimic nou. Deoarece teoria stringurilor nu este dezvoltată până la capăt, ea nu are încă niște ipoteze care să se poată dovedi false. Deoarece există atât de multe variațiuni ale teoriei, unii savanți îi contestă caracterul științific. Disputele dacă este folositoare sau nu umplu paginile revistelor științifice și chiar ale ziarelor, dar teoreticienii stringurilor consideră că eforturile lor sunt justificate.

” FAPTUL CĂ AI ACELE DIMENSIUNI ÎN PLUS, AȘADAR MULTE FELURI ÎN CARE STRINGUL POATE VIBRA ÎN MULTE DIRECȚII DIFERITE, SE DOVEDEȘTE A FI CHEIA PENTRU A PUTEA DESCRIE TOATE PARTICULELE PE CARE LE VEDEM. ”

Edward Witten, n. 1951

Jun. anilor 1970

Este obținută o teorie cuantică a gravitației.

1984-1986

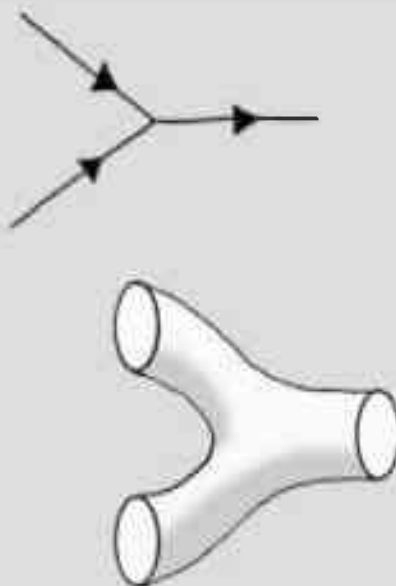
Expansiunea rapidă a teoriei stringurilor „explică” toate particulele.

anii 1990

Witten și alții dezvoltă teoria M în 11 dimensiuni.

Teoria M

Stringurile sunt, în primul rând, linii. Dar în spațiul multidimensional ele sunt un caz special de geometrii, care pot fi suprafețe și alte forme multidimensionale. Această teorie generalizată este numită teoria M. Există mai multe versiuni reformulate la cuvântul de la care vine „M” și care ar putea fi membrană sau mister. O particulă se deplasează prin spațiu pe o linie, dacă particula punctiformă ar fi înmăscată în dimensiune, ar deveni o curbă liniară, pe care o numim linie de viață (în string, să spunem o buclă, ar fi ca un cilindru). Așadar, spunem că această curbă este suprafață de viață. Interacțiunile se produc acolo unde aceste suprafețe se intersectează și unde stringurile se rup și se recombinau. Astfel, teoria M este, de fapt, un studiu al formelor tuturor acestor suprafețe în spațiul 11-dimensional.



Teoria totulului În tentativa de a explica într-un singur cadru întreaga lume a particulelor și a interacțiunilor dintre ele, teoria stringurilor încearcă să se apropie de o „teorie a totulului”, o singură teorie care unifică toate cele patru forțe fundamentale (electromagnetismul, gravitația, forța nucleară tare și forța nucleară slabă) și explică masele particulelor, precum și toate proprietățile lor. Inițial, Einstein a fost cel care a încercat să unifice teoria cuantică și gravitația, în anul 1940, dar nu a reușit nici el, și nici altcineva de atunci până în zilele noastre. Einstein a fost luat în derădere pentru această cercetare, considerată imposibilă și o pierdere de vreme. Teoria stringurilor aduce în ecuație gravitația, astfel încât potențialul ei atrage cercetători care să o continue. Mai este, însă, mult până să fie formulată precis, ca să nu mai vorbim despre o eventuală verificare a ei.

Teoria stringurilor a apărut ca o noutate și își datorează succesul frumuseții aparatului ei matematic. În anul 1920, Theodor Kaluza a folosit armonicele ca modalitate diferită de a descrie unele proprietăți neobișnuite ale particulelor. Fizicienii și-au dat seama că aceeași matematică ar putea descrie și unele fenomene cuantice. În esență, matematica din teoria undelor funcționează bine și pentru mecanica cuantică, și pentru extinderea acesteia în fizica particulelor.

De aici au fost dezvoltate primele teorii ale stringurilor. Există numeroase variante și este încă departe de o teorie unică, atotcuprinzătoare.

O teorie a totulului este scopul urmărit de unii fizicieni, care sunt în general reducționiști și care cred că, dacă înțelegi „cărămizile” din care este construită, atunci poți înțelege întreaga lume. Dacă înțelegi un atom format din stringuri care vibrează, atunci poți deduce întreaga chimie, biologie și așa mai departe. Alți oameni de știință găsesc însă o astfel de atitudine ridicolă. Cum ar putea cunoașterea atomilor să îți spună ceva despre teoria socială sau despre evoluția impozitelor? Nu totul poate fi explicat atât de simplu. Ei cred că o astfel de teorie descrie lumea ca un zgornot lipsit de sens al interacțiunilor subatomice, așadar este nihilistă și eronată. Punctul de vedere reducționist ignoră comportamente macroscopice evidente, cum ar fi modelul uraganelor sau haosul, și este descris de fizicianul Steven Weinberg ca fiind „rece și impersonal. El trebuie acceptat așa cum este nu pentru că ne-ar fi pe plac, ci pentru că așa funcționează lumea.”

Teoria sau, mai degrabă, teoriile stringurilor sunt și acum într-o stare de flux. Nu a apărut încă o teorie definitivă și s-ar putea să mai dureze ceva până la apariția uneia, pentru că fizica a devenit atât de complicată, încât sunt multe lucruri care trebuie incluse în ea. Să vezi universul ca o muzică formată din numeroase armonii are un anumit farmec. Dar adepții teoriei zăbovesc uneori și asupra aspectelor prozaice, preocupându-se atât de mult de detalii, încât diminuează semnificația modelelor la scară mare. Adepții teoriei stringurilor s-ar putea, așadar, să rămână marginali până când apare o viziune mai puternică. Dar, dată fiind natura științei, este bine că ei caută, și nu în locuri obișnuite.

**” NU ÎMI PLACE CĂ
NU CALCULEAZĂ ORICE.
NU ÎMI PLACE CĂ NU ÎȘI
VERIFICĂ IDEILE. NU ÎMI
PLACE CĂ, PENTRU ORICE
VINE ÎN CONTRADICȚIE
CU UN EXPERIMENT, EI
VIN CU O EXPLICAȚIE -
O CÂRPEALĂ CARE SĂ-ȚI
PERMITĂ SĂ SPUI «EI BINE,
S-AR PUTEA SĂ FIE TOTUȘI
ADEVĂRAT».”**

Richard Feynman, 1918-1988

Idee de bază
armonice universale

40 Relativitate specială

Legile mișcării ale lui Newton descriu cum se deplasează cele mai multe dintre obiecte, de la mingi de tenis și mașini până la comete. Dar Albert Einstein a arătat, în 1905, că atunci când obiectele se mișcă foarte repede, se întâmplă lucruri ciudate. Dacă privești un obiect care se apropie de tine cu viteza luminii, vei vedea cum devine mai greu, se contractă în lungime și îmbătrânește mai încet. Aceasta deoarece nimic nu se poate deplasa mai repede decât viteza luminii, așadar timpul și spațiul însele se distorsionează când se apropie de această limită universală de viteză.

Unde sonore răsună prin aer, dar vibrațiile lor nu pot traversa spațiile goale, în care nu există atomi. Așadar, este adevărat că „în spațiu nu te sude nimeni dacă strigi”. Dar lumina se poate răspândi prin spațiul vid, fapt pe care îl știm deoarece putem vedea Soarele și stelele. Este cumva spațiul umplut cu un mediu special, un fel de aer electric, prin care se propagă undele electromagnetice?

” CEL MAI DE NEÎNȚELES LUCRU DESPRE LUME ESTE CĂ EA POATE FI PE DEPLIN ÎNȚELEASĂ. “

Albert Einstein, 1879–1955

Fizicienii de la sfârșitul secolului al XIX-lea credeau asta și considerau că spațiul este umplut cu un fel de gaz sau „eter”, prin care radiază lumina.

Viteza luminii În 1887, însă, un experiment celebru a demonstrat că eterul nu există. Deoarece Pământul se mișcă în jurul Soarelui, poziția lui în spațiu se schimbă în permanență. Dacă eterul ar fi fix, atunci Albert Michelson și Edward Morley au conceput un experiment ingenios care ar fi detectat mișcarea relativă la eter. Ei au comparat două raze de lumină care se deplasează pe trasee diferite, în unghi drept una față de cealaltă și reflectate de oglinzi identice, îndepărtate. La fel cum unui înotător îi ia mai puțin timp să traverseze un râu de la un mal la altul decât să

CRONOLOGIE

1881 d.Hr.

Michelson și Morley nu reușesc să dovedească existența eterului.

1905

Einstein publică teoria specială a relativității.

Paradoxul gemenilor

Imaginați-vă că dilatarea timpului se aplică și oamenilor. Este posibil. Imaginați-vă că fratele vostru geșmân ar fi trimis în spațiu cu o rachetă care călătorește suficient de repede și stă în cosmos suficient de mult timp. La întoarcere, ați constata că el s-a îmbătrânit mai încet decât voi, rămăși aici pe Pământ. La întoarcere, s-ar putea să fiți pensionari, pe când el ar fi în floarea vârstei. Deși pare imposibil, nu este propriu-zis un paradox, deoarece geșmânul din spațiu ar fi

supus unor forțe puternice, care să permită o astfel de schimbare.

Din cauza acestei decalări temporale, evenimente care apar simultane într-un anumit context s-ar putea să nu apară la fel în altul. La fel cum timpul încetinește, tot așa se contractă lungimile. Obiectul sau persoana care se deplasează la oarecare viteză nu ar observa nici unul din aceste efecte, el ar fi sesizabil doar de către un observator extern.

Înainte aceeași distanță în susul râului, contra curentului, și apoi la vale, Michelson și Morley se așteptau la un rezultat similar pentru lumină. Curentul râului ar reprezenta mișcarea Pământului prin eter. Dar nu a apărut nici o diferență – razele de lumină s-au întors la punctele de plecare exact în același timp. Indiferent de direcția în care se deplasa lumina și cum se mișca Pământul, viteza luminii a rămas neschimbată. Viteza luminii nu a fost afectată de mișcare. Experimentul a dovedit că eterul nu există – dar a fost nevoie de Einstein, ca să realizeze aceasta.

La fel ca principiul lui Mach (vezi p. 4), aceasta înseamnă că nu există o rețea fixă, în fundal, față de care să se miște obiectele. Spre deosebire de undele din apă sau de undele sonore, lumina pare să călătorească întotdeauna cu aceeași viteză. Acest lucru era ciudat și în contradicție cu experiențele noastre obișnuite, în care vitezele se adună. Atunci când conduci mașina cu 50 km/h și te depășește o altă care merge cu 65 km/h, este ca și cum tu ai sta pe loc și celălalt șofer ar trece pe lângă tine cu 15 km/h. Dar chiar dacă ai gonii cu sute de km/h, lumina ar călători tot cu aceeași viteză. Ea este de exact 300 de milioane de metri pe secundă, indiferent dacă aprinzi o lanternă într-un avion supersonic sau din șaua unei biciclete.

1971

Dilatarea timpului este demonstrată cu ajutorul unor ceasuri instalate în avioane aflate în zbor.

**” INTRODUCEREA UNUI
ETER-LUMINĂ SE VA DOVEDI
DE PRISOS, DEDARECE...
NU VA FI INTRODUS NICI
UN SPAȚIU ÎN REPAUS
ABSOLUT, DOTAT CU
PROPRIETĂȚI SPECIALE ȘI
NICI UN VECTOR DE VITEZĂ
NU VA FI ASOCIIAT CU UN
PUNCT DIN SPAȚIUL VID ÎN
CARE AU LOC PROCESELE
ELECTROMAGNETICE. “**

Albert Einstein, 1905

Această viteză constantă a luminii a fost cea care l-a intrigat pe Albert Einstein în 1905 și l-a făcut să elaboreze teoria relativității speciale. Pe atunci un obscur funcționar la un birou de patente din Siveția, Einstein a elaborat ecuațiile de la zero, în timpul lui liber. Relativitatea specială a fost cea mai mare descoperire științifică după Newton și a revoluționat fizica. Einstein a început cu presupunerea că viteza luminii este o constantă și apare aceeași pentru orice observator, indiferent cât de repede se deplasează acesta. Dacă viteza luminii nu se schimbă, atunci trebuie să se schimbe altceva, ca să compenseze.

Spațiul și timpul Pe baza ideilor dezvoltate de Edward Lorenz, George Fitzgerald și Henri Poincaré, Einstein a arătat că spațiul și timpul se distorsionează, pentru a se

conforma cu diferitele puncte de vedere ale observatorilor ce călătoresc cu viteze apropiate de cea a luminii. Cele trei dimensiuni ale spațiului și cea a timpului au format o lume cvadridimensională. Viteza este distanță împărțită la timp, așadar, pentru a preveni orice depășire a vitezei luminii, distanțele trebuie să se reducă, iar timpul să fie încetinit, ca să compenseze. Astfel, o rachetă care se îndepărtează de tine pare mai scurtă și timpul curge mai lent pentru ea.

Einstein a desușit modul în care legile mișcării puteau fi rescrise pentru observatori care se deplasează cu viteze diferite. El a exclus existența unui sistem de referință staționar, cum ar fi eternul, și a decretat că toate mișcările sunt relative și că nu există observator privilegiat. Dacă stați într-un tren și vedeți un alt tren care se mișcă pe șina alăturată, s-ar putea să nu știți care tren stă pe loc și care se deplasează. Mai

mult, chiar dacă vedeți că trenul vostru staționează în gară, nu puteți afirma că sunteți imobil, doar pentru că nu vă mișcați față de

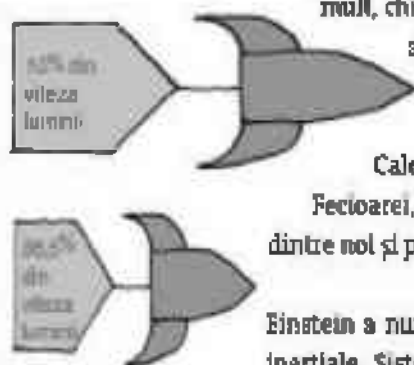
peron. Nu simțim mișcarea Pământului în jurul Soarelui, nici drumul pe care îl urmează Soarele prin galaxie sau cum

Calea Lactee este atrasă de uriașul cluster de galaxii din constelația

Fecioarei, dincolo de ea. Tot ce putem experimenta este mișcarea relativă

dintre noi și peron sau a Pământului rotindu-se printre stele.

Einstein a numit aceste puncte de observație diferite sisteme de referință inerțiale. Sistemele de referință inerțiale sunt spații care se mișcă unul



față de celălalt cu viteză constantă, fără accelerații sau forțe. Astfel, dacă stați într-o mașină care se deplasează cu viteza de 50 km/h, vă aflați într-un sistem de referință inerțial și vă simțiți exact la fel ca într-un tren care merge cu 100 km/h (alt sistem de referință inerțial) sau într-un avion care zboară cu 500 km/h (și care este și el sistem de referință inerțial). Einstein a afirmat că legile fizicii sunt aceleași în toate sistemele de referință inerțiale. Dacă scăpați un pix în mașină, tren sau avion, el va cădea pe podea în același fel.

” ESTE IMPOSIBIL SĂ
CĂLĂTOREȘTI CU VITEZĂ
MAI MARE DECÂT LUMINA
ȘI NICI NU AR FI DE DORIT,
MAI ALES CÂND ÎȚI ZBOARĂ
ÎNTR-UNA PĂLĂRIA. “

Woody Allen

Mai lent și mai greu Mergând mai departe spre înțelegerea mișcărilor relative la viteze apropiate de cele ale luminii, viteza maximă care poate fi atinsă de materie, Einstein a prezis că timpul avea să încetinească. Dilatarea timpului exprimă faptul că, în diferite sisteme de referință inerțiale, ceasurile ar putea să funcționeze cu viteze diferite. Acest fapt a fost demonstrat în 1971, prin trimiterea a patru ceasuri atomice în avioane ce au înconjurat Pământul de două ori, dintre care două au zburat spre est și celelalte două spre vest. Când au fost comparați timpul indicat cu un ceas rămas la sol, în Statele Unite, ceasurile care zburaseră pierduseră fiecare câte o fracțiune de secundă comparativ cu cel care stătuse pe loc, în concordanță cu teoria relativității speciale a lui Einstein.

Un alt factor care împiedică obiectele să depășească bariera vitezei luminii este că masa lor crește, potrivit ecuației $E = mc^2$. Un obiect care ar atinge viteza luminii ar deveni el însuși infinit de mare, făcând imposibilă orice accelerare suplimentară. Iar orice obiect care are masă nu poate atinge exact viteza luminii, ci doar să se apropie de ea, deoarece, cu cât se apropie mai mult, cu atât devine mai greu și accelerarea este mai dificilă. Lumina este formată din fotoni care sunt lipsiți de masă, așadar aceștia nu sunt afectați.

Relativitatea specială a lui Einstein a însemnat o ruptură radicală de tot ceea ce a precedat-o. Echivalența dintre masă și energie a fost șocantă, la fel cum au fost toate implicațiile pentru dilatarea timpului și pentru masă.

Idee de bază
mișcarea este relativă.

41

Relativitate generalizată

Încorporând gravitația în teoria lui a relativității speciale, teoria relativității generalizate a lui Einstein a revoluționat viziunea pe care o avem despre spațiu și timp. Ea a trecut dincolo de legile lui Newton și a deschis un univers de găuri negre, găuri de vierme și lentile gravitaționale.

Imaginați-vă un om care sare de pe o clădire înaltă sau care se parașutează dintr-un avion, accelerat către pământ de gravitație. Albert Einstein și-a dat seama că, în această stare de cădere liberă, persoana respectivă nu resimte gravitația. Cu alte cuvinte, ar fi lipsită de greutate. În zilele noastre, în acest mod sunt recreate condițiile de gravitație zero pentru antrenamentul astronautilor, prin zborul unui avion (poreclii foarte străgător „cometa de vomitat”) pe un traseu ce imită traseul unui montagne-russe. Când avionul zboară în sus, pasagerii sunt lipiți de scaune și trăiesc experiența unor forțe mai puternice chiar și decât gravitația. Dar când avionul este îndreptat cu botul în jos și plonjează spre pământ, ei sunt eliberați din chingile gravitației și plutesc liber prin corpul aparatului.

Accelerația Einstein și-a dat seama că această accelerație era asociată forței de gravitație. Astfel, tot așa cum relativitatea specială descrie ce se întâmplă în sistemele de referință inerțiale, care se deplasează cu viteze constante unul față de celălalt, gravitația este o consecință a situării într-un sistem de referință care accelerează. El a numit-o cea mai fericită idee care i-a venit în viață.

În anul următor, Einstein a explorat consecințele. Discutându-și ideile cu colegi de încredere și folosind cele mai noi evoluții ale matematicii ca să

CRONOLOGIE

1687 d.Hr.

Newton propune legea sa a gravitației.

1915

Einstein publică teoria generalizată a relativității.

le „prindă” în formule, el a elaborat teoria completă a gravitației, pe care a numit-o relativitate generală. Anul 1915, când și-a publicat lucrarea, s-a dovedit unul neobișnuit de agitat și Einstein și-a revizuit aproape imediat teoria de câteva ori. Colegii de breaslă au fost ulmiți de progresele lui. Teoria a generat chiar și unele predicții ciudate, dar verificabile, inclusiv ideea că raza de lumină ar putea fi curbată de un câmp gravitațional și, de asemenea, că orbita eliptică a lui Mercur s-ar roti încet din cauza gravitației Soarelui.

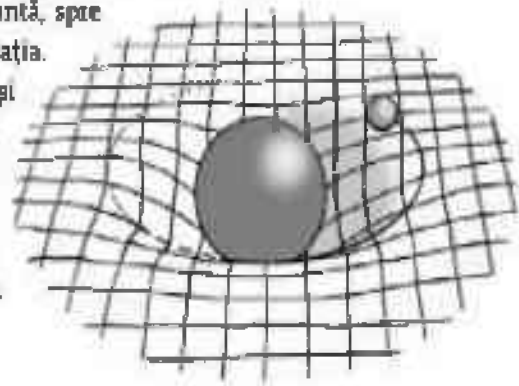
”TIMPUL ȘI SPAȚIUL
ȘI GRAVITAȚIA NU POT
EXISTA SEPARAT DE
MATERIE.”

Albert Einstein, 1915

Spațiu-timp În teoria relativității generalizate, cele trei dimensiuni ale spațiului și cea a timpului sunt combinate într-o rețea cvadridimensională spațiu-timp sau metrică. Viteza luminii este tot fixă și nimic nu poate să o depășească. În cazul mișcării și accelerației, această metrică spațiu-timp este cea distorsionată pentru a menține constantă viteza luminii.

Relativitatea generalizată poate fi imaginată cel mai bine prin vizualizarea spațiului-timp ca o suprafață de cauciuc întinsă peste o masă găurită. Obiectele cu masă sunt ca niște bile grele plasate pe această suprafață. Ele deformează spațiu-timp în jurul lor. Imaginați-vă că puneți pe suprafață o bilă ce reprezintă Pământul. Ea formează o adâncitură pe planul de cauciuc pe care este așezată. Dacă aruncați apoi lângă ea o bilă mai mică, un asteroid să spunem, acesta se va rostogoli pe pantă, spre Pământ. Aceasta ilustrează cum se resimte gravitația.

Dacă bila mai mică s-ar mișca suficient de repede și urma lăsată de Pământ ar fi suficient de adâncă, atunci, tot așa cum un cascador pe motocicletă poate goli pe interiorul unei piste înclinate, acel corp s-ar menține pe o orbită circulară, asemenea Lunii. V-ați putea gândi la întregul univers ca la



1919

Observațiile din timpul eclipselor confirmă teoria lui Einstein.

anii 1960

În spațiu sunt văzute dovezi ale existenței găurilor negre.



o suprafață unapă de cauciuc. Fiecare planetă, stea și galaxie produc o adâncitură care poate atrage sau devia obiectele mai mici în trecere, ca mingile care se rostogolesc dincolo de contururile unui traseu de golf.

Einstein a înțeles că, din cauza acestei deformări a spațiului-timp, lumina ar fi deviată la trecerea prin apropierea unui corp masiv, cum este Soarele. Einstein a prezis că poziția unei stele observate în spatele Soarelui se va deplasa puțin, deoarece lumina care vine de la ea este deviată atunci când trece pe lângă masa Soarelui. Pe 29 mai 1919, astronomi din toată lumea s-au strâns ca să verifice predicțiile lui Einstein prin observații făcute în timpul unei eclipse totale de Soare. S-a dovedit unul dintre momentele de glorie ale fizicianului, arătând că teoria pe care unii o credeau nebunească era, de fapt, aproape de adevăr.

Deformări și găuri Îndoirea razelor de lumină a fost confirmată cu lumina care vine tocmai din partea cealaltă a universului. Lumina de la galaxiile foarte îndepărtate este evident curbată la trecerea prin regiuni cu formațiuni masive, cum ar fi un uriaș cluster de galaxii sau o galaxie cu adevărat mare. Punctul de lumină din fundal este întins într-un arc. Deoarece acesta imită o lentilă, efectul este cunoscut drept lentilă gravitațională. Dacă galaxia din depărtare se află în spatele unui obiect masiv, interpus între ea și observator, atunci lumina de la ea este întinsă într-un cerc complet, numit inel Einstein.

Unde gravitaționale

Un alt aspect al relativității generalizate este că în suprafața spațiu-timp pot fi generate unde. Undele gravitaționale pot radii în special de la găurile negre și de la stele compacte și dense care se roteasc, cum sunt pulsarii. Astronomii au văzut cum scurde rotația unor pulsari și se așteaptă ca onorarii acestora să fi fost pierdută prin intermediul undelor gravitaționale, însă undele nu au fost detectate direct încă. Fizicienii construiesc pe Pământ și în spațiu niște detectoare unapă pentru a surprinde tremurul așteptat al unor raze laser foarte lungi, la trecerea undelor gravitaționale. Dacă undele gravitaționale ar fi detectate, ar fi încă un succes pentru teoria relativității generalizate a lui Einstein.

Acest spectacol a fost surprins de telescopul spațial Hubble în multe fotografii frumoase.

Teoria relativității generalizate a lui Einstein este aplicată acum pe scară largă la modelarea întregului univers. Spațiul-timp poate fi conceput ca un fel de peisaj, completat cu munți, văi și coline. Relativitatea generalizată a rezistat până acum tuturor testelor de observație. Regiunile unde este testată cel mai des sunt cele în care gravitația este extrem de puternică sau poate foarte slabă.

Găurile negre (vezi p. 168) sunt ca niște puțuri extrem de adânci în suprafața spațiu-timp. Ele sunt atât de adânci și de abrupte, încât orice se apropie suficient de mult de ele poate să cadă înăuntru, inclusiv lumina. Ele marchează găuri sau singularități, în suprafața spațiu-timp. Spațiu-timp care poate să se deformeze și în găuri de vierme sau tuburi, deși nimeni nu a văzut încă așa ceva.

La cealaltă extremă, acolo unde gravitația este foarte slabă, ne-am putea aștepta ca aceasta să se rupă în cuante minuscule, similar luminii formate din „cărămizile” reprezentate de fotoni individuali. Dar nimeni nu a văzut până acum nici cel mai mic semn de granulație, în cazul gravitației. Sunt elaborate teorii cuantice ale gravitației, dar, în lipsa unor dovezi care să le susțină, unificarea teoriei cuantice și a gravitației nu este încă realizabilă. Această problemă l-a preocupat pe Einstein tot restul carierei sale, dar nici măcar el nu a reușit, iar provocarea rămâne în picioare.

”VOM PRESUPUNE, AȘADAR, ECHIVALENȚA FIZICĂ COMPLETĂ ÎNTRE UN CÂMP GRAVITAȚIONAL ȘI ACCELERAȚIA CORESPUNZĂTOARE A SISTEMULUI DE REFERINȚĂ. ACEASTĂ PRESUPUNERE EXTINDE PRINCIPIUL RELATIVITĂȚII LA CAZUL MIȘCĂRII UNIFORM ACCELERATE A SISTEMULUI DE REFERINȚĂ.”

Albert Einstein, 1915

Idee de bază

spațiu-timp cu deformări

42 Găurile negre

Să cazi într-o gaură neagră nu ar fi deloc plăcut, corpul ți-ar fi rupt în bucăți, în timp ce prietenilor ți-ai apărea înghețat în timp, ca în momentul prăbușirii. Găurile negre au fost imaginate mai întâi ca niște stele înghețate, din care viteza de scăpare ar depăși-o pe cea a luminii. Acum sunt considerate, însă, niște găuri sau „singularități” în suprafața spațiu-timp a lui Einstein. Și nu sunt doar imaginare, găuri negre uriașe populează centrele galaxiilor, incluzând galaxia noastră, iar unele mai mici apar prin spațiu ca fantomale unor stele moarte.

Dacă arunci o minge în sus, în aer, ea ajunge la o anumită înălțime, după care cade înapoi, în jos. Cu cât o arunci mai repede, cu atât mai sus va ajunge. Dacă o azvârli suficient de repede, ea ar putea să scape din câmpul gravitațional al Pământului și să tăpnească în spațiu. Viteza pe care ar trebui să o atingi ca să se întâmple acest lucru se numește „viteză de scăpare” și este de 11 km/s. O rachetă trebuie să atingă această viteză ca să scape din câmpul gravitațional al

” DUMNEZEU NU DOAR
CĂ JOACĂ ZARURI, DAR
CÂTEODATĂ ÎE ARUNCĂ
UNDEVA UNDE NU POT FI
VĂZUTE. “

Stephen Hawking, 1977

Pământului. Viteza de scăpare ar fi mai mică dacă te-ai afla pe mai puțin masivă Lună: 2,4 km/s ar fi suficient. Dar, dacă te afli pe o planetă mai mare, viteza de scăpare crește. Dacă planeta respectivă ar fi suficient de grea, atunci viteza de scăpare ar putea atinge sau chiar depăși însăși viteza luminii, așadar nici măcar lumina nu ar putea scăpa de atracția ei gravitațională. Un astfel de obiect, atât de masiv și de dens încât nici lumina nu poate să-l scape, este numit gaură neagră.

Orizontul de eveniment Ideea de gaură neagră a fost dezvoltată în secolul al XVIII-lea de către geologul John Michell și matematicianul Pierre-Simon

CRONOLOGIE

1784 d.Hr.

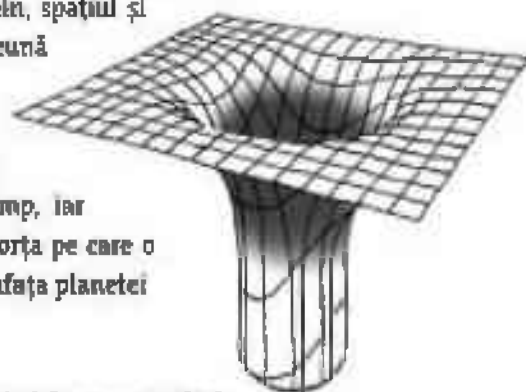
Michell deduce posibilitatea existenței „stelor întunecate”.

anii 1930

Este anticipată existența stelor înghețate.

Laplace. Mai târziu, după ce Einstein și-a prezentat teoriile relativității, Karl Schwarzschild a explicat cum ar putea să arate o gaură neagră.

În teoria relativității generalizate a lui Einstein, spațiul și timpul sunt în legătură și se comportă împreună ca o vastă suprafață de cauciuc. Gravitația deformează această suprafață în funcție de greutatea obiectului. O planetă grea va sta într-o groapă adâncă în suprafața spațiu-timp, iar atracția ei gravitațională este echivalentă cu forța pe care o simți când aluneci în groapă, căzând spre suprafața planetei sau eventual atras într-o mișcare orbitală.



Așadar, ce este o gaură neagră? Aceasta ar trebui să fie un puț atât de adânc și de abrupt, încât orice se apropie suficient de mult cade drept înăuntru și nu se mai poate întoarce.

Dacă treci la mare distanță de o gaură neagră, traiectoria s-ar putea să ți se curbeze spre ea, fără să cazi, însă, înăuntru. Dar, dacă treci prea aproape, atunci vei ajunge pe o spirală care te aruncă înăuntru. Aceeași soartă ar avea-o chiar și un foton de lumină. Distanța critică dintre aceste două evoluții posibile se numește „orizont de eveniment”. Orice ajunge dincolo de orizontul de eveniment se prăbușește în gaura neagră, inclusiv lumina.

Căderea într-o gaură neagră a fost descrisă ca „a fi întins ca o macaroană”. Deoarece marginile sunt atât de abrupte, gradientul gravitației este extrem de puternic într-o gaură neagră. Dacă ar fi să cazi cu picioarele înainte, atunci picioarele tale ar fi atrase spre interior mult mai puternic decât capul, iar corpul ți s-ar întinde ca un elastic. Adaugă mișcarea de rotație și vei fi întins ca o gumă de mestecat într-o vâltoare de spaghete. Un mod foarte neplăcut de a muri. Unde savanți și-au bătut capul cum ar putea fi protejat un ghinionist care dă întâmplător peste o gaură neagră. O modalitate de a te proteja pare să fie

1965

Sunt descoperiți quasarii.

1967

Wheeler redenumeste stelele înghețate găuri negre.

anii 1970

Hawking sugerează că găurile negre se evaporă.

Evaporare

Oricât de ciudat s-ar părea, găurile negre îngung, în cele din urmă, să se evapore. În anul 1970, Stephen Hawking a sugerat că găurile negre nu sunt complet negre, ci radiază particule, ca o consecință a efectelor cuantice. În acest mod se pierde treptat masă, iar gaura neagră se micșorează până dispare cu totul. Energia găurii negre creștează conținutul perechii de particule și antiparticule corespunzătoare acestora. Dacă acest lucru se întâmplă în apropierea orizontului de eveniment, atunci, căleazăcă, una dintre particule reușește să scape, chiar

dacă perechea ei cade înăuntru. Pentru un observator extern, gaura neagră pare să emită particule, numite radiație Hawking. Această energie radiată provoacă micșorarea găurii. Această idee este deosebită în cadrul teoriei și nimeni nu știe cu siguranță ce se întâmplă cu o gaură neagră. Faptul că ele sunt o prezență obișnuită în cosmos sugerează că acest proces durează foarte mult, așa că găurile negre persistă în jurul nostru.

purtarea unui inel magic, de plumb. Dacă inelul ar fi suficient de dens și de greu, el ar putea contracara gradientul gravitației, salvându-și forma – și viața.

Stele înghețate Numele de „gaură neagră” a fost găsit de John Wheeler, în 1967, ca o alternativă mai atrăgătoare de a descrie o stea înghețată. Existența stelelor înghețate a fost anticipată din anul 1930, de teoriile lui Einstein și Schwarzschild. Din cauza comportamentului neobișnuit al spațiului și timpului în apropierea unui orizont de eveniment, materia strălucitoare care cădea înăuntru părea să încetinească în timpul procesului, deoarece razelor de lumină le lua din ce în ce mai mult timp să ajungă la un observator ce privea de la distanță. Odată ce materia trecea de orizontul de eveniment, acest observator exterior o vedea înghețată în clipa atingerii liniei respective, ca și cum timpul s-ar fi oprit în loc. A fost prezisă existența stelelor înghețate, încrămite parcă în timp la momentul prăbușirii dincolo de orizontul de eveniment. Astrofizicianul Subrahmanyan Chandrasekhar a prezis că stelele care au o masă de cel puțin 14 ori mai mare decât a Soarelui se vor prăbuși, în cele din urmă, într-o gaură neagră; cu toate acestea, dat fiind principiul de excludere al lui Pauli (vezi p. 120), știm acum că stelele neutronice și piticele albe se vor prăbuși în ele însele ca efect al presiunii cuantice, așadar, pentru formarea unei găuri negre, este nevoie de o masă de trei ori mai mare decât a Soarelui. Dovezi ale existenței acestor stele înghețate sau găuri negre au fost descoperite abia în anul 1960.

Dacă găurile negre absorb lumina, atunci cum le putem vedea, ca să știm că sunt acolo? Există două modalități. În primul rând, le poți vedea datorită faptului că

atrag spre ele alte corpuri. Iar, în al doilea rând, gazul care cade în ele se poate încălzi și strălucește înainte să dispară. Prima metodă a fost folosită pentru a identifica o gaură neagră ce stă ascunsă chiar în centrul galaxiei noastre. Stelele care trec prin apropierea ei au fost văzute mai întâi accelerând, iar apoi aruncate spre exterior pe orbite alungite. Gaura neagră din Calea Lactee are o masă de milioane de ori mai mare decât a Soarelui, înghesuită într-o regiune cu raza de doar 10 milioane de kilometri (30 de secunde-lumină). Găurile negre ce stau ascunse prin galaxii sunt numite găuri negre supermasive. Nu știm cum s-au format, dar ele par să afecteze modul în care evoluează galaxiile, așadar, s-ar putea să fi fost acolo din prima clipă sau poate s-au format prin colapsul a milioane de stele într-un singur punct.

” GĂURILE NEGRE DIN NATURĂ SUNT CELE MAI PERFECTE OBIECTE MACROSCOPICE CARE EXISTĂ ÎN UNIVERS: SINGURELE ELEMENTE DIN CONSTRUCȚIA LOR SUNT CONCEPTELE NOASTRE DESPRE SPAȚIU ȘI TIMP. “

Subrahmanyan Chandrasekhar, 1983

A doua metodă de a „vedea” o gaură neagră este prin intermediul luminii care vine de la gazul fierbinte ce cade în interior. Quasarii, cele mai luminoase obiecte din univers, strălucesc datorită gazelor supte în găurile negre supermasive din centrele galaxiilor îndepărtate. Găurile negre mai mici, care au masa doar de câteva ori mai mare decât a Soarelui, pot fi identificate cu ajutorul razelor X emise de gazele ce cad în interiorul lor.

Găurile de vierme Ce se află la fundul unei găuri negre în suprafața spațiu-timp? Se termină ele cu un vârf ascuțit sau sunt propriu-zis niște găuri, niște străpungeri ale suprafeței? Dar teoreticienii s-au întrebat și ce s-ar întâmpla dacă aceste capete ar atinge o altă gaură neagră. Vă puteți imagina două găuri negre alăturate ca niște tuburi lungi care atârnă din suprafața spațiu-timp. Dacă tuburile și-ar uni capetele, s-ar forma un fel de conductă sau o gaură de vierme între cele două guri ale găurilor negre. Înarmat cu inelul magic, ați putea atunci să săriți într-una din găurile negre și să apăreți brusc din cealaltă.

Idee de bază
capcane pentru lumină

43 Paradoxul Olbers

De ce este întunecat cerul nopții? Dacă universul ar fi nesfârșit și a existat dintotdeauna, atunci ar trebui să fie la fel de strălucitor ca Soarele, și, totuși, nu este așa. Limitarea numărului de stele este o realitate și implică faptul că universul are dimensiune și vârstă limitate. Paradoxul lui Olbers a deschis drumul către cosmologia modernă și modelul Big Bang.

Ați putea crede că este greu să cartografezi întregul univers și să-i treci în revistă istoria, iar pentru asta ar fi nevoie de sateliți costisitori în spațiu, de telescoape uriașe pe vârfuri de munte sau de un creier ca al lui Einstein. Dar, în realitate, dacă ieși afară într-o noapte senină, poți face o observație punct cu punct, la fel de profundă ca relativitatea generalizată. Cerul nopții este întunecat. Chiar dacă uneori luăm acest lucru ca fiind ceva normal, faptul că noaptea cerul este întunecat și nu strălucește la fel ca Soarele spune multe despre universul nostru.

Stea luminooasă, stea strălucitoare Dacă universul ar fi infinit de mare, extinzându-se la nesfârșit în toate direcțiile, atunci în orice direcție am privi am vedea până la urmă o stea. Orice privire ar poposi pe suprafața unei stele. Pe măsură ce ne-am îndepărta de Pământ, din ce în ce mai multe stele ar umple cerul. Este ca și cum am privi printre copaci unei păduri – în apropiere poți distinge trunchiurile individuale ale copacilor, cu atât mai mari cu cât sunt mai apropiate, însă din ce în ce mai mulți copaci îndepărtați ar umple câmpul vedentii. Astfel, dacă pădurea ar fi suficient de mare, nu ai mai putea să vezi peisajul de dincolo de ea. Asta s-ar întâmpla și dacă universul ar fi infinit de mare. Chiar dacă stelele sunt mult mai distanțate decât copaci, până la urmă vor fi suficient de numeroase ca să blocheze tot câmpul vizual.

CRONOLOGIE

1610 d.Hr.

Kepler observă că cerul nopții este întunecat.

1832

Olbers formulează paradoxul care avea să îi poarte numele.

Dacă toate stelele ar fi asemenea soarelui, atunci fiecare punct de pe cer ar fi umplut de lumină de stele. Chiar dacă o stea izolată din depărtare ar fi mai puțin luminoasă, mai există multe stele la distanța respectivă. Dacă se adună lumina de la toate acele stele la fel de strălucitoare ca Soarele, atunci tot cerul nopții ar trebui să strălucească și el.



Este evident că lucrurile nu stau așa. Paradoxul cerului întunecat a fost observat de Johannes Kepler în secolul al XVII-lea, dar a fost formulat abia în 1823, de către astronomul german Heinrich Olbers. Soluțiile paradoxului sunt profunde. Există câteva explicații și fiecare dintre ele are elemente de adevăr, care sunt acum înțelese și adoptate de astronomii moderni. Dincolo de aceasta, este uimitor că o observație atât de simplă ne poate spune atât de multe.



Cer întunecat

Frumusețea cerului întunecat, din noapte a devenit din ce în ce mai greu de observat, din cauza strălucirii luminilor din orașele noastre. De-a lungul istoriei, în nopțile senine, oamenii care au privit bolta au putut vedea, de-a curmizșul cerului, un fel de coloană vertebrală strălucitoare, alcătuită din stele. Aceasta a fost numită Calea Lactee, iar acum știm, când ne uităm la ea, că privim spre planul central al galaxiei noastre. În urmă cu 50 de ani era posibil să vezi Calea Lactee și celii mai strălucitoare stele chiar și din orașele mari, însă, în zilele noastre, din orașe așa

dacă se mai văd câteva stele și chiar și cerul din zonele rurale este acoperit de un smog galben. Imaginea care o inspiră generațiile de dinaintea noastră este din ce în ce mai estonipată. Principiul vinovat îl reprezintă bucuria strălucire pe bază de sodiu, în special cele care rispec lumini proiectând-o și în sus, nu doar în jos. Grupuri din toată lumea, cum este asociația International Dark-Sky, din care fac parte și astronomii, fac acum campanii pentru reducerea poluării luminoase astfel încât să putem privi și în continuare spre universul exterior.

1912

Vesto Slipher măsoară deplasările spre roșu ale galaxiilor.

Evrika!

Edgar Allan Poe, în poemul sau în proză din 1848, *Evrika*, a observat:

Dacă presupunem stălelelor ar fi fără sfârșit, atunci fundalul cerului ar trebui să ne apară cu o luminozitate uniformă, ca aceea întâlnită în cazul Galaxiei – pentru că nu ar putea exista absolut nici un punct, în tot acel fundal, în care să nu fie și o stea. Așadar, dată fiind această stare de lucruri, singurul mod în care am putea explica vidul pe care telescoapele noastre îl întâlnesc în neîmăritate divacă ar fi să presupunem că distanțele până la fundalul vizibil sunt atât de mari, încât nici o rază de lumină emisă de el nu a ajuns încă la noi.

Sfârșitul este aproape Prima explicație ar fi că universul nu este infinit de mare. El trebuie să se oprească undeva. Așadar, în univers trebuie să fie un număr limitat de stele și nu vom întâlni o stea pe toate liniile de vedere. La fel, dacă stai în apropiere de marginea unei păduri sau într-o pădure mică, poți vedea cerul de dincolo de ea.

O altă explicație ar putea fi aceea că stelele îndepărtate sunt puține la număr, astfel încât ele nu pot da, împreună, atât de multă lumină. Deoarece lumina călătorește cu o viteză bine precizată, lumina de la stelele îndepărtate are nevoie de mai mult timp ca să ajungă la noi decât lumina de la stelele din apropiere. Lumina emisă de Soare ajunge la noi în opt minute, dar este nevoie de patru ani în cazul luminii de la cea mai apropiată stea, Alfa Centauri, și de până la 100 000 de ani pentru lumina stelelor din cealaltă parte a galaxiei noastre. Luminii de la galaxia din imediata noastră vecinătate, Andromeda, îi ia două milioane de ani ca să ajungă la noi; acesta este cel mai îndepărtat obiect pe care îl putem vedea cu ochiul liber. Așadar, cu cât ne uităm mai departe în univers, privim și înapoi în timp, iar stelele îndepărtate ne apar mai tinere decât cele din apropiere. Acest lucru ne-ar putea ajuta cu paradoxul lui Olbers, dacă acele stele mai tinere ar deveni până la urmă mai rare decât stelele de tipul Soarelui, din apropiere. Stelele asemănătoare Soarelui trăiesc circa 10 miliarde de ani (cele mai mari au viață mai scurtă decât cele mici), așadar faptul că stelele au o durată de viață finită ar putea și el să explice paradoxul. Stelele încetează să existe înaintea unui anumit moment, altele nu s-au născut încă. Așadar, stelele nu au existat dintotdeauna.

Faptul că stelele îndepărtate apar mai puțin strălucitoare decât soarele poate fi explicat și prin deplasarea spre roșu. Expansiunea universului „întinde” lungimile de undă, făcând lumina de la stelele îndepărtate să pară mai roșie. Așadar, stelele aflate la mare distanță par mai reci decât stelele din apropiere. Acest fapt ar putea, de asemenea, să restricționeze cantitatea de lumină care ajunge la noi din cele mai îndepărtate părți ale universului.

Au fost avansate și idei năstrușnice, cum ar fi că lumina de la distanță ar fi blocată de poluarea produsă de civilizații extraterestre, de ace de fier sau de un ciudat praf cenușiu. Dar orice lumină absorbită ar fi radiată din nou sub formă de căldură, așa că tot ar trebui să apară undeva în spectru. Astronomul au verificat lumina de pe cerul nopții pe toate lungimile de undă, de la undele radio la razele gamma, și nu au depistat nici un semn că lumina stelară vizibilă ar fi blocată.

Universul, la jumătatea drumului Astfel, simpla observație că noaptea cerul este întunecat ne spune că universul nu este infinit. El există de un timp limitat, are dimensiuni finite, iar stelele pe care le conține nu au existat dintotdeauna.

Aceste idei stau la baza cosmologiei moderne. Cele mai bătrâne stele pe care le putem observa au vârsta în jur de 3 miliarde de ani, așadar știm că universul trebuie să se fi format înaintea acestui moment. Paradoxul lui Olbers sugerează că nașterea universului nu a avut loc cu mult înainte, pentru că altfel ne-am putea aștepta să vedem multe generații de stele mai vechi, ceea ce nu se întâmplă.

Galaxiile îndepărtate sunt, într-adevăr, mai roșii decât cele din apropiere, din cauza deplasării spre roșu, ceea ce le face mai greu de observat cu telescoape optice și confirmă că universul este în expansiune. Cele mai îndepărtate galaxii cunoscute astăzi sunt atât de roșii încât devin invizibile și pot fi observate doar în infraroșu. Așadar, toate aceste dovezi susțin ideea unui Big Bang, adică a universului născut dintr-o explozie uriașă, în urmă cu aproximativ 14 miliarde de ani.

Idee de bază universul nostru finit

44 Legea lui Hubble

Edwin Hubble a fost primul care și-a dat seama că toate galaxiile de dincolo de galaxia noastră se îndepărtează de noi. Cu cât se află mai departe, cu atât mai repede se îndepărtează, conform legii lui Hubble. Această diaspore galactică a fost prima dovadă a expansiunii universului, o descoperire uluitoare care ne-a schimbat cu totul concepția despre univers și despre destinul lui.

” ISTORIA ASTRONOMIEI ESTE O ISTORIE A ORIZONTURILOR CARE SE LĂRGESC. “

Edwin Hubble, 1938

Deducția lui Copernic din secolul al XVI-lea, că Pământul se mișcă în jurul Soarelui, a provocat consternare generală. Oamenii nu mai erau în centrul exact al cosmosului. Dar, în anii 1920, astronomul american Edwin Hubble a făcut măsurători cu telescopul care erau și mai neliniștitoare. El a arătat că universul nu este static, ci se extinde. Hubble a calculat distanțele până la alte galaxii și vitezele acestora, față de Calea Lactee; el a descoperit că toate galaxiile se îndepărtează de noi.

Suntem atât de nepopulari în cosmos, încât doar câțiva vecini foarte apropiați se mai apropie de noi. Cu cât galaxia este mai îndepărtată de a noastră, cu atât se îndepărtează mai repede, cu o viteză proporțională cu distanța la care se află (Legea lui Hubble). Raportul dintre viteză și distanță este întotdeauna același și se numește constanta Hubble. Astronomii din zilele noastre i-au stabilit, din măsurători, o valoare apropiată de 75 de kilometri pe secundă pe megaparsec (un megaparsec sau un milion de parseci este echivalent cu 3 262 000 de ani-lumină sau 3×10^{22} m). Altfel spus, galaxiile se distanțează constant de noi cu această valoare.

Marea dezbatere înainte de secolul XX, astronomii abia dacă înțelegeau galaxia noastră, Calea Lactee. Ei au studiat sute de stele din interiorul ei, dar au observat și că este presărată cu numeroase pete de lumină slabă, numite nebuloase. Unele

CRONOLOGIE

1918 d.Hr.

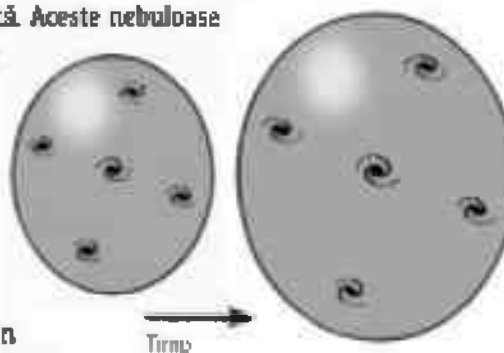
Vesto Slipher măsoară deplasarea spre roșu a nebuloaselor.

1920

Shapley și Curtis pun în dezbatere dimensiunile Căii Lactee.

dintre aceste nebuloase sunt nori de gaz asociați cu nașterea și moartea stelelor. Dar altele arătau diferit. Unele aveau forme spiralate sau ovale care sugerau că erau mai regulate decât un nor.

În 1920, doi astronomi celebri au susținut o dezbateră privitoare la originea acestor pete. Harlow Shapley a argumentat că tot ceea ce se află pe cer ar face parte din Calea Lactee, care constituia întregul univers. De partea cealaltă, Heber Curtis a opinat că unele dintre aceste nebuloase erau „universuri insulare” sau „universuri” externe, din afara propriei noastre Căi Lactee. Termenul „galaxie” a fost introdus abia mai târziu, pentru a descrie aceste universuri nebuloase. Ambii astronomi au adus dovezi în sprijinul ideilor proprii, iar disputa nu a fost tranșată pe loc. Cercetările ulterioare ale lui Hubble au arătat că viziunea lui Curtis era cea corectă. Aceste nebuloase în spirală erau într-adevăr galaxii exterioare și nu se aflau în interiorul Căii Lactee. Brusc, universul se desfășurase într-o țesătură uniapă.



Zburând spre depărtări Hubble a folosit telescopul Hooker de 100 de inci de la Mount Wilson ca să măsoare lumina de la stelele ce licăreau în nebuloasa Andromeda, despre care acum știm că este o galaxie în spirală care seamănă mult cu Calea Lactee și face parte dintr-un grup de galaxii asociate cu a noastră. Aceste stele care licăresc sunt stelele variabile Cefeide, după steaua-prototip identificată în constelația Cepheus, și reprezintă și acum repere extrem de valoroase pentru distanțe. Intensitatea și reperele în timp ale licăririi sunt legate direct de strălucirea intrinsecă a stelei, așadar, odată ce știi cum anume variază lumina stelei, știi și cât este de strălucitoare. Cunoșcându-i strălucirea, poți estima apoi cât de departe este, deoarece distanța îi estompează luminositatea. Este similar cu a observa un bec de 100 W aflat la distanță și a determina cât de departe este prin comparația cu un bec de 100 W aflat în fața ta.

1922

Alexander Friedman publică modelul Big Bang.

1924

Sunt descoperite stelele variabile Cefeide.

1929

Hubble și Milton Humason descoperă legea lui Hubble.

Telescopul Spațial Hubble

Telescopul Spațial Hubble este, cu siguranță, cel mai popular satelit de observație lansat vreodată. Uimitoarele lui fotografii din nebuloase, galaxii îndepărtate și discuri în jurul stelelor au apărut pe primele pagini ale multor ziare și reviste din ultimii 20 de ani. Lansat în 1990, din pe navele spațiale *Discovery*, vehiculul spațial are dimensiuni apropiate de cele ale unui autobuz (cu etaj, 13 metri lungime, 4 metri lățime și o greutate de 11 tone). El transportă un telescop astronomic al cărui oglinzid are diametrul de 2,4 metri și o serie întreagă de camere video și de detecționare

electronice: capabile să înregistreze, cu o claritate deosebită, imagini în spectrul vizibil, ultraviolet și infraroșu. Forța telescopului Hubble stă în locașarea deasupra atmosferei terestre, astfel încât fotografiile lui nu sunt deloc încețoșate. Hubble însă a îmbătrânit, iar soarta lui este neșgură. S-ar putea ca NASA să îl aducă instrumentele la zi, dar pentru asta ar fi nevoie de o navetă spațială cu echipaj uman. Ceaaltă variantă ar fi terminarea programului, iar telescopul și urmele sale să fie readuse la sol și păstrate pentru posteritate sau să fie prăbușit controlat în ocean.

În acest mod, Hubble a măsurat distanța până la galaxia Andromeda. Aceasta era mai mare decât dimensiunea Căii Lactee, așa cum a fost estimată de Shapley, deci Andromeda trebuia să se afle în afara ei. Rezultatul a fost unul revoluționar.

” LE GĂSIM MAI MICI ȘI MAI ȘTERSE, ÎN NUMERE DIN CE ÎN CE MAI MARI, ȘI NE DĂM SEAMA CĂ AJUNGEM DIN CE ÎN CE MAI DEPARTE ÎN SPAȚIU, PÂNĂ CÂND, ODATĂ CU CEA MAI SLABĂ NEBULOASĂ CE POATE FI DETECTATĂ CU TELESKOAPELE CELE MAI MARI, ATINGEM FRONTIERA UNIVERSULUI CUNOSCUT. ”

Edwin Hubble, 1938

Înseamna că universul era vast și umplut și de alte galaxii similare Căii Lactee. Dacă plasarea Soarelui în centrul universului a nemulțumit biserica și sensibilitățile unor oameni, „decăderea” Căii Lactee la statutul de una dintre mii de alte galaxii a fost o lovitură și mai puternică pentru egocentrismul uman.

Hubble s-a apucat apoi să calculeze distanțele până la multe alte galaxii. El a descoperit totodată în lumina ce venea de la ele o deplasare spre roșu ce creștea odată cu distanța. Deplasarea spre roșu este similară deplasării Doppler în cazul unui obiect în mișcare (vezi p. 76). Constatarea că frecvențele luminii, cum ar fi tranzițiile atomice ale hidrogenului, erau toate mai roșii decât ar

fi de așteptat înseamnă că toate aceste galaxii se îndepărtează de noi, așa cum scade tonalitatea sirenelor unor ambulanțe ce se grăbesc în depărtare. Părea foarte ciudat că toate galaxiile se îndepărtau cu viteză, iar spre noi se mișcau doar câteva, „locale”. Cu cât privești mai departe, cu atât mai repede se îndepărtează. Hubble a mai constatat că galaxiile nu se îndepărtau doar de noi, ceea ce ar fi făcut ca locul nostru în univers să fie într-adevăr unul privilegiat. În schimb, ele se

îndepărtau, cu toatele, una de alta. Hubble a tras concluzia că universul însuși este în expansiune, umflându-se ca un balon urlaș. Galaxiile sunt ca niște pete pe acest balon, îndepărtându-se una de alta pe măsură ce se adaugă aer.

Cât de departe, cât de repede? Chiar și astronomii de astăzi folosesc stelele variabile din Cefeide pentru a cartografia expansiunea locală a universului. Măsurarea cât mai precisă a constantei Hubble a fost și este un obiectiv major. Pentru asta, trebuie să știi cât de departe se află ceva și să-ți cunoști viteza, sau deplasarea spre roșu. Deplasările spre roșu sunt simplu de măsurat, din spectrele atomice. Frecvența unei anumite tranziții atomice în lumina unei stele poate fi comparată cu valoarea ei determinată în laborator; diferența dă deplasarea spre roșu. Distanțele sunt mai greu de determinat, deoarece trebuie să observi, în galaxia îndepărtată, fie ceva căruia îi cunoști lungimea de undă, fie căruia îi cunoști strălucirea reală, un fel de „lumină standard”.

Există mai multe metode pentru a deduce distanțele astronomice. Stelele din Cefeide funcționează foarte bine pentru galaxiile învecinate, atunci când poți separa stelele individuale. Dar mai departe este nevoie de alte tehnici. Toate tehnicile distincte pot fi legate pentru a construi un urlaș etalon pentru măsurare sau o „scară a distanțelor”. Dar fiecare metodă vine cu particularități care fac acuratețea scării extinse să fie aproximativă.

Constanta Hubble este cunoscută acum cu o acuratețe de 10 la sută, mulțumită observațiilor făcute asupra galaxiilor cu ajutorul Telescopului Spațial Hubble și a radiației cosmice de fundal. Expansiunea universului a început în Big Bang, explozia care a creat universul, iar de atunci galaxiile se îndepărtează permanent una de alta. Legea lui Hubble stabilește o limită pentru vârsta universului. Dacă urmărești expansiunea sa continuă până în punctul în care a început, poți estima cu cât timp în urmă s-a întâmplat asta. Vârsta universului pare să fie în jur de 14 miliarde de ani. Această viteză de expansiune nu este, din fericire, suficient de mare pentru a distruge universul. Cosmosul este, în schimb, într-un echilibru foarte fin între a fi epușberat în toate părțile și a conține suficientă masă pentru a se prăbuși, până la urmă, în el însuși.

Idee de bază

universul în expansiune

45 Big Bang

Nașterea universului într-o explozie fenomenală a creat spațiul, materia și timpul așa cum le cunoaștem. Oeduse din aparatul matematic al relativității generalizate, găsim dovezi ale exploziei Big Bang în îndepărtarea galaxiilor de a noastră, în cantitățile de elemente de lumină din univers și în strălucirea microundelor care umplu cerul.

Big Bang este explozia supremă – nașterea universului. Privind astăzi în jurul nostru, vedem semne că universul se extinde și deducem că trebuie să fi fost mai mic și mai fierbinte în trecut. Concluzia logică este că întregul Cosmos și-ar putea avea originea într-un singur punct. În momentul exploziei, spațiul, timpul și materia au fost create împreună, într-o minge de foc cosmică. Treptat, de-a lungul a peste 14 miliarde de ani, acest nor fierbinte, dens s-a expandat și s-a răcit. Până la urmă, s-a fragmentat pentru a crea stelele și galaxiile care brăzdează astăzi cerul.

Nu e glumă Denumirea „Big Bang” a fost dată, de fapt, în derâdere. Eminentul astronom britanic Fred Hoyle considera ridicolă ideea că întreg universul a crescut dintr-o singură sămânță. Într-o serie de prelegeri difuzate la radio în 1949, el a etichetat drept exagerată ipoteza matematicianului belgian Georges Lemaitre, care descoperise această soluție în ecuațiile relativității generalizate ale lui Einstein. În locul acestei idei, Hoyle a preferat să creadă într-o viziune mai solidă asupra Cosmosului. În Universul său cu o perpetuă „stare stabilă”, materia și spațiul erau continuu create și distruse și astfel puteau exista un timp nelimitat. Totuși, indiciile se acumulau, iar, în anul 1960, imaginea statică a lui Hoyle a fost lăsată deoparte, dată fiind soliditatea dovezilor care favorizau ipoteza Big Bang.

Universul în expansiune Trei observații esențiale au asigurat succesul modelului Big Bang. Prima este constatarea lui Edwin Hubble, din anul 1920.

CRONOLOGIE

1927 d.Hr.	1929	1948
Friedman și Lemaitre elaborează teoria Big Bang.	Hubble detectează expansiunea universului.	Este prezisă existența radiației cosmice de fond din domeniul microundelor. Alpher și Gamow calculează nucleosinteza Big Bang.

că majoritatea galaxiilor se îndepărtează de a noastră. Privite din afară, toate galaxiile tind să se îndepărteze una de alta, pe măsură ce pânza spațiu-timp se extinde și se strânge, conform legii lui Hubble. O consecință a expansiunii este faptul că lumina îi ia puțin mai mult timp să ajungă la noi când călătorește printr-un univers în expansiune decât i-ar lua într-un univers în care distanțele sunt fixe. Acest efect este înregistrat ca o schimbare a frecvenței luminii, denumită „deplasare spre roșu”, deoarece lumina recepționată apare mai roșie decât a fost atunci când a părăsit steaua sau galaxia îndepărtată. Deplasarea spre roșu poate fi folosită pentru a deduce distanțele astronomice.

Elemente ușoare Cu mult timp în urmă, în primele ore ale universului nou-născut, imediat după Big Bang, totul era inghesuit strâns laolaltă, într-un cazan care fierbea, supraincâlzit. În prima secundă, universul era atât de fierbinte și de dens, încât nici măcar atomii nu erau stabili. Pe măsură ce a crescut și s-a răcit, a apărut mai întâi o supă de particule, plină de quarcuri, gluoni și alte particule fundamentale (vezi p. 144). După doar un minut, quarcurile se unesc pentru a forma protoni și neutroni. Apoi, în primele trei minute, chimia cosmică a amestecat protoni și neutroni, conform numerelor relative, în nuclee atomice. Acesta este momentul în care alte elemente decât hidrogenul s-au format prin fuziune nucleară. După ce universul s-a răcit sub limita de fuziune, nu s-au putut forma alte elemente mai grele decât beriliul. Așadar, universul inițial a fost plin de nuclee de hidrogen, heliu și de urme de deuteriu (hidrogen greu), litiu și beriliu, create chiar în Big Bang.

În 1940, Ralph Alpher și George Gamow au prevăzut proporțiile elementelor ușoare produse în Big Bang. Iar această imagine a fost confirmată și de cele mai recente măsurători și observații ale stelelor cu ardere lentă și ale norilor primitivi de gaz din Calea Lactee.

” COMUTAȚI TELEVIZORUL PE ORICE CANAL PE CARE NU ÎL RECEPȚIONAȚI ȘI APROXIMATIV 1% DINTRE PUNCTELE COLORATE PE CARE LE VEDEȚI SE DATORĂZĂ ACESTEI RĂMĂȘITE ALE BIG BANGULUI. DATA VIITOARE CÂND VĂ PLÂNGETI CĂ NU VEDEȚI NIMIC, AMINTIȚI-VĂ CĂ PUTEȚI PRIVI NAȘTEREA UNIVERSULUI. “

Bill Bryson, 2005

1949

Hoyle dă denumirea „Big Bang”.

1965

Penzias și Wilson detectează radiația cosmică de fond din domeniul microundelor.

1992

Satelitul COBE măsoară radiația cosmică de fond din domeniul microundelor.

Cronologia Big Bang

13,7 miliarde de ani (după Big Bang)

Acum (temperatură: $T = 2\,726\text{ K}$)

200 milioane de ani „Reionizarea”: primele stele, căldură și gaz de hidrogen ionizat ($T = 50\text{ K}$)

380 de mii de ani „Recombinarea”: gazul de hidrogen se răcește pentru a forma molecule ($T = 3\,000\text{ K}$)

10 mii de ani Sfârșitul erii dominate de radiați ($T = 12\,000\text{ K}$)

1 000 de secunde Descompunerea neutronilor volab ($T = 560\text{ milioane K}$)

100 de secunde „Nucleosinteza”: formarea heliului și a altor elemente din hidrogen ($T = 1\text{ miliard K}$)

10 secunde Anihilarea perechilor electron-positron ($T = 5\text{ miliarde K}$)

1 secundă Descuplarea neutronilor ($T = 10\text{ miliarde K}$)

100 de microsecunde Anihilarea pozitron ($T = 1\text{ trilion K}$)

50 de microsecunde „Faza de tranziție QCD”: quarcurile sîi unesc în neutroni și protoni ($T = 2\text{ trilioane K}$)

10 picosecunde „Faza de tranziție electroslabă”: forța electromagnetică și cea electroslabă se diferențiază ($T = 1\text{--}2\text{ ovedtrilioane K}$)

Înainte, temperaturile erau atât de ridicate, încît cunoștințele noastre de fizică sînt încălta

Timp



Big Bang

În teoria Big Bang, existența radiației cosmice de fond a fost prezisă în 1948, de către George Gamow, Ralph Alpher și Robert Hermann. Deși nucleele au fost sintetizate în primele trei minute, atomii nu s-au format decît după 400 000 de ani. Pînă la urmă, electronii încărcati negativ s-au cuplat cu nucleele încărcate pozitiv, pentru a alcătui atomii de hidrogen și elemente ușoare. Înlăturarea particulelor încărcate electrice, care împrăștiie și blochează calea luminii, a îndepărtat ceața și a făcut universul transparent. De atunci înainte, lumina a putut călători liber prin univers, permițându-ne să vedem pînă departe. Deși ceața din universul tînăr era inițial fierbinte (aproximativ 300 de grade Kelvin), expansiunea universului a deplasat spre roșu strălucirea acestuia, astfel încît azi o vedem la o temperatură de mai puțin

Strălucirea microundelor Un alt pilon care susține teoria Big Bang este descoperirea, în 1965, a ecoului slab al exploziei înseși. Arno Penzias și Robert Wilson lucrau la un receptor radio din laboratoarele Bell din New Jersey, cînd au fost contrariați de un semnal sonor slab, de care nu puteau scăpa. Se părea că mai exista o sursă de microunde care veneau din cer, echivalentul a ceva cu o temperatură de cîteva grade.

După ce au discutat cu astrofizicianul Robert Dicke de la Universitatea Princeton din apropiere, ei și-au dat seama că semnalul lor corespundea previziunilor pentru remanența Big Bang. Dăduseră peste radiația cosmică de fond, o mare de fotoni rămasă dintr-un univers foarte tînăr și fierbinte. Dicke, care construise o antenă radio similară pentru a căuta radiația cosmică de fond, a fost mai puțin încîntat: „Băieți, m-ați luat”, a glumit el.

de 3 grade Kelvin (trei grade peste zero absolut). Asta au observat Penzias și Wilson. Așadar, cu aceste trei elemente fundamentale care nu au fost contrazise până acum, teoria Big Bang este acceptată de către cei mai mulți astrofizicieni. Cățiva dintre ei încă susțin modelul stărilor de energie stabile preferat de Fred Hoyle, dar este dificil să se explice toate aceste observații conform oricărui alt model.

Soartă și trecut Ce s-a întâmplat înainte de Big Bang? Întrucât spațiul-timp a fost creat în Big Bang, acestuia nu este, de fapt, o întrebare prea relevantă – este într-o măsură similară întrebărilor „unde începe Pământul?” sau „ce se află la nord de Polul Nord al Pământului?”. Totuși, fizicienii matematicieni aproximează prin ponderare factorul declanșator al Big Bangului în spațiul multidimensional (deseori cu 11 dimensiuni), prin matematica Teoriei M și teoria coardelor. Acestea cercetează fizica și energiile coardelor și ale membranelor în spații multidimensionale și încorporează idei din fizica particulelor și mecanica cuantică pentru a identifica un astfel de eveniment. Făcând paralele cu ideile fizicii cuantice, unii cosmologi discută, de asemenea, ideea existenței universurilor paralele.

” **EXISTĂ UN PLAN COERENT ÎN UNIVERS, CU TOATE CĂ NU ȘTIU PENTRU CE ANUME.** “

Fred Hoyle, 1915–2001

În modelul Big Bang, spre deosebire de modelul stărilor de energie stabile, universul evoluează. Soarta cosmosului este dictată în mare măsură de echilibrul dintre cantitatea de materie ținută laolaltă de gravitație și de alte forțe fizice care o împrăștiu, inclusiv expansiunea. Dacă gravitația câștigă, atunci expansiunea universului ar putea stagna într-o zi, iar universul ar începe să se prăbușească în el însuși, sfârșind într-o secvență inversă a Big Bangului, cunoscută sub numele de marea contracție. Universul ar putea trece prin mai multe astfel de cicluri naștere–moarte. Ca o alternativă, dacă expansiunea și alte forțe repulsive (cum ar fi energia neagră) câștigă, atunci acestea vor îndepărta toate stelele și galaxiile și planetele unele de celelalte, iar universul nostru ar putea sfârși ca un depert negru de găuri negre și de particule, un „mare îngheț”. În final, mai există „Universul Ileana Cosânzeana”, în care forțele de atracție și cele de respingere se echilibrează, iar universul continuă să se extindă veșnic, dar încetinește treptat. Este sfârșitul pe care cosmologia modernă îl indică drept cel mai probabil. Universul nostru este exact așa cum trebuie.

Idee de bază
explozia supremă

46 Inflația cosmică

De ce arată universul la fel în toate direcțiile? Și de ce, când razele paralele de lumină traversează spațiul, acestea rămân paralele, astfel încât noi vedem stele distincte? Credem că răspunsul este inflația - ideea că universul nou-născut s-a extins atât de repede, într-o fracțiune de secundă, încât încrețiturile sale s-au netezit, iar expansiunea sa ulterioară a contrabalansat gravitația.

**” SE SPUNE CĂ NU
EXISTĂ O MASĂ GRATUITĂ.
DAR UNIVERSUL
ESTE MASĂ GRATUITĂ
SUPREMĂ. “**

Alan Guth, n. 1947

Universul în care trăim este special. Când îl privim, vedem clar, fără distorsiuni, constelații și galaxii îndepărtate. Lucrurile ar putea cu ușurință să stea altfel. Teoria relativității a lui Einstein descrie gravitația ca o urzeală spațiu-timp prin care razele de lumină trec pe traiectorii curbe (vezi p. 164). Așadar, razele de lumină s-ar putea încălci, iar universul pe care îl privim ne-ar putea apărea distorsionat, ca reflexiile într-o galerie a oglinzilor care deformează. Dar, în ansamblu, în afara de deviația ciudată pe care o suferă când ocolesc o galaxie, razele de lumină tind să călătorească în linii mai mult sau mai puțin drepte prin univers. Perspectiva noastră rămâne clară în tot spectrul vizibil.

Platitudine Deși teoria relativității consideră suprafața spațiu-timp ca fiind curbă, astronomii descriu, uneori, universul ca fiind „plat”, ceea ce înseamnă că razele de lumină paralele rămân paralele indiferent cât de departe călătoresc prin spațiu, la fel cum s-ar întâmpla dacă ar străbate o suprafață plată. Planul spațiu-timp poate fi descris ca o suprafață de cauciuc, în care obiectele grele se lasă în jos și rămân în adâncituri din ea, fenomen care reprezintă gravitația.

CRONOLOGIE

1981 d.Hr.

Guth emite ipoteza inflației.

1992

Satelitul Cosmic Background Explorer (COBE) detectează peticele fierbinți și reci și le măsoară temperatura.

Geometria universului

Din cele mai recente observații ale radiației cosmice de fonduri, cum ar fi cele realizate de satelitul Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) în 2003 și 2006, fizicienii au reușit să măsoare forma planului spațiu-timp în univers. Comparând măsurătorile perturbărilor fierbinți și reci ale câmpului în microunde cu lungimile prognozate de teoria Big Bang, ei demonstrează că universul este „plat”. Chiar după o călătorie de-a lungul întregului univers, care durează miliarde de ani, fasciculele de lumină care pornesc paralele vor rămâne paralele.

În realitate, planul spațiu-timp are mai multe dimensiuni (cel puțin patru: trei dimensiuni spațiale și una temporală), dar acestea sunt greu de imaginat. Urzeala se extinde continuu, după Big Bang. Geometria universului este în așa fel încât planul spațiu-timp rămâne în cea mai mare măsură plat, ca o masă, cu toate micile adâncituri și umflături de ici-colo, provocate de tiparele materiei. Așadar, traiectoria luminii prin univers este relativ neafectată, cu excepția ochului ciudat în jurul unui corp masiv.

Dacă ar fi prea multă materie, atunci totul ar trage țesătura în jos, iar aceasta s-ar îndoi și s-ar suprapune, inversând expansiunea. În acest scenariu, razele de lumină paralele inițial ar converge până la urmă și s-ar întâlni într-un punct. Dacă ar fi prea puțină materie, atunci țesătura spațiu-timp s-ar întinde și s-ar rupe. Razele de lumină ar diverge când ar parcurge-o. Totuși, universul nostru real pare să fie undeva la mijloc, cu suficientă materie cât să țină țesătura universului laolaltă în timp ce se extinde constant. Așadar, universul pare să fie perfect echilibrat (vezi caseta).

Asemănare O altă caracteristică a universului este aceea că, în linii mari, arată la fel în toate direcțiile. Galaxiile nu se concentrează într-un loc, ci sunt

2003

Satelitul Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) trasează reprezentarea grafică a radiației cosmice de fonduri.

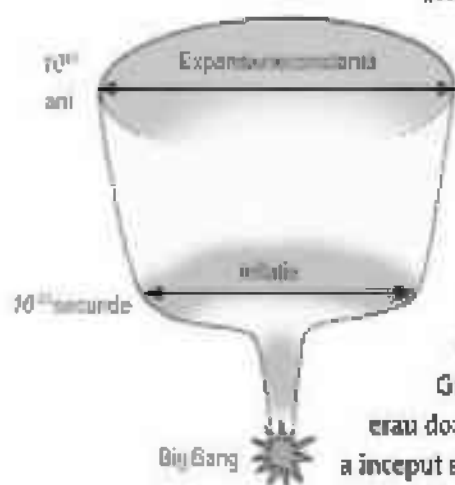
Radiație cosmică de fond

O noțiune care acoperă toate aceste probleme este radiația cosmică de fond. Aceasta reprezintă rămășița sferică de foc al Big Bangului, deplasată acum spre roșu, la o temperatură de 2,73 grade Kelvin. Are 2,73 grade Kelvin peste tot în spațiu, în regiunile calde și reci variind numai cu 1/100 000. Până astăzi, această măsurătoare rămâne cea mai precisă determinare a temperaturii

unui corp. Această uniformitate este neașteptată, deoarece, atunci când Universul era foarte tânăr, regiunile îndepărtate nu puteau comunica nici măcar la viteza luminii. Așadar, este surprinzător că, totuși, radiația cosmică de fond are pretențiuni omogeni temperatură. Micile variații de temperatură sunt urmele fluctuațiilor cuantice din tânăra univers.

Împrăștiate în toate direcțiile. Acest lucru poate nu pare, la început, surprinzător, dar este neașteptat. Problema este că universul este atât de mare încât marginile opuse nu ar trebui să poată să comunice nici măcar cu viteza luminii. Existând de doar 14 miliarde de ani, universul are, totuși, o lățime de peste 14 miliarde de ani-lumină. Prin urmare, lumina, chiar dacă se mișcă cu viteza cea mai mare pe care o poate atinge un semnal transmis, nu a avut timp să ajungă dintr-o parte a universului în cealaltă. Deci, cum știe o parte a universului cum arată cealaltă parte? Aceasta este „problema orizontului”,

„orizontul” fiind cea mai îndepărtată distanță parcursă de lumină de la nașterea universului, marcând o sferă iluminată. Așadar, există regiuni ale spațiului pe care nu le vom putea vedea niciodată, pentru că lumina de acolo nu a avut timp să ajungă la noi.



Notăzime: Universul este, de asemenea, destul de neted. Galaxiile sunt împrăștiate destul de uniform pe cer. Dacă le priviți cu ochii întredeschisi, vedeți o strălucire uniformă, nu pete luminoase. Și, în acest caz, s-ar fi putut să nu fie așa. Galaxiile au crescut în timp din cauza gravitației. La început, erau doar pete puțin mai dense în gazul rămas după Big Bang. Pata a început să se prăbușească în ea însăși din cauza gravitației, alcătuiind stele și, ulterior, o galaxie. Creșterea semințelor inițiale supradense de galaxii a fost declanșată de efecte cuantice, modificând minuscule ale energiei particulelor din universul embrionar, fierbinte. Dar acestea s-ar fi putut

amplifica formând pete mari de galaxii, ca petele de pe pielea unei vaci, nu galaxiile împrăștiate pe care le vedem azi. În distribuția galaxiilor sunt mai multe mușuroaie de cârțiță decât câteva piscuri de munți.

Mugure de creștere Problema platitudinii, a orizontului și a netezimii universului poate fi rezolvată printr-o idee: inflația. Inflația a fost elaborată ca soluție în 1981, de către fizicianul american Alan Guth. Problema orizontului, aceea că universul arată la fel în toate direcțiile, chiar dacă este prea mare pentru ca în el să se transmită această informație, implică faptul că, la un moment dat, universul a fost atât de mic încât lumina putea comunica în toate zonele sale. Pentru că nu mai este așa, înseamnă că s-a extins rapid până la universul proporțional mai mare pe care îl vedem acum. Dar această perioadă de inflație a fost, probabil, extrem de rapidă, mult mai rapidă decât viteza luminii. Această expansiune rapidă, dublarea într-o fracțiune de secundă, urmată de noi dublări, a provocat ușoare variații de densitate imprimare de fluctuațiile cuantice, la fel cum un model desenat pe un balon care este umflat devine mai șters. Astfel, universul devine neted. Procesul inflaționist s-a echilibrat, de asemenea, gravitația și expansiunea finală, continuând într-un ritm mult mai lent. Inflația a avut loc aproape imediat după Big Bang (10^{-36} secunde mai târziu).

Inflația nu a fost încă dovedită, iar cauza sa nu este încă bine înțeleasă – există multe modele și teorii –, dar înțelegerea sa este un obiectiv al următoarei generații de experimente cosmice, între care întocmirea unor hărți mai detaliate ale radiației cosmice de fond și a polarizării sale.

**” ESTE FANTASTIC SĂ ÎȚI
DAI SEAMA CĂ LEGILE FIZICII
POT DESCRIE CUM TOTUL
A FOST CREAT DIN NIMIC,
PRINTR-O FLUCTUAȚIE CUANTICĂ
ÎNTÂMLĂTOARE, ȘI CUM, DE-A
LUNGUL A 15 MILIARDE DE ANI,
MATERIA S-A PUTUT ORGANIZA
ÎN MODURI ATÂT DE COMPLEXE
ÎNCÂT AVEM FIINȚE UMANE
STÂND AICI, VORBIND, FĂCÂND
INTENȚIONAT LUCRURI. “**

Alan Guth, n. 1947

Idee de bază

mugure de creștere cosmic

47

Materia întunecată

Novăzeci la sută din materia din univers nu strălucește, ci este întunecată. Materia întunecată poate fi detectată datorită efectului ei gravitațional, dar interacționează foarte puțin cu undele luminoase sau cu materia. Științii cred că ar exista sub formă de MACRO, stele moarte și planete gazoase, sau WIMP, particule subatomice exotice – căutarea materiei întunecate fiind domeniul de frontieră al fizicii.

Noțiunea de materie întunecată sună exotic, și poate că este, dar definiția arată destul de prozaic. Cele mai multe lucruri pe care le vedem în univers strălucesc deoarece ele emit sau reflectă lumină. Stelele luminescă emițând fotoni, iar planetele strălucesc reflectând lumina Soarelui. Fără soara lumină, pur și simplu, nu le-am vedea. Când Luna trece prin umbra Pământului este întunecată; când stelele se sting, lasă resturi prea pale pentru a fi văzute; chiar și o planetă mare ca Jupiter ar fi invizibilă dacă ar fi lăsată liberă să rătăcească mai departe de Soare. Astfel încât, la prima vedere, poate că nu este o mare surpriză faptul că partea cea mai mare a universului nu strălucește. Este materie întunecată.

Partea întunecată Deși nu putem să vedem materia întunecată direct, putem să îi detectăm masa prin intermediul atracției gravitaționale pe care o exercită asupra altor obiecte astronomice și asupra razelor de lumină. Dacă nu am ști despre existența Lunii, l-am putea deduce prezența deoarece gravitația ei modifică puțin orbita Pământului. Modificările orbitel induse de gravitație, aplicate unei stele, au fost folosite chiar și pentru descoperirea planetelor din jurul stelelor îndepărtate.

În anul 1930, astronomul elvețian Fritz Zwicky și-a dat seama că o aglomerare gigantică de galaxii apropiate se comporta într-un mod care implica faptul că

CRONOLOGIE

1933 d.Hr.

Zwicky măsoară materia întunecată din clusterul Coma.

1975

Vera Rubin demonstrează că rotația galaxiei este influențată de materia întunecată.

Buget de energie

Astăzi știm că doar aproximativ 4% din materia din univers este alcătuită din bășoni (materie normală, compusă din protoni și neutroni). Alte 23% sunt reprezentate de materie întunecată exotă. Știm că aceasta nu este alcătuită din bășoni. Este mai dificil să spunem din ce este alcătuită, dar ar putea fi particule de tip WIMP. Restul bugetului de energie a universului constă din cu totul altceva, din energie întunecată.

masa ei era mult mai mare decât greutatea tuturor stelelor din toate galaxiile din ea. El a dedus că o materie întunecată necunoscută cântărește de 400 de ori mai mult decât materia luminoasă, stelele strălucitoare și gazul fierbinte din întreaga aglomerare. Însăși cantitatea de materie întunecată a fost o mare surpriză, implicând faptul că, în cea mai mare parte, universul nu există sub forma stelelor și a gazului, ci sub altă formă. Așadar, ce este această materie întunecată? Și unde se ascunde?

Lipsește masă și din galaxiile spirale individuale. Gazul din zonele dinspre exterior se rotește mai repede decât ar trebui dacă galaxia ar fi doar atât de grea cât masa adunată a stelelor din ea. Prin urmare, astfel de galaxii sunt mult mai grele decât ne-am aștepta privind doar partea luminoasă. Și în acest caz, materia întunecată suplimentară trebuie să aibă o greutate de sute de ori mai mare decât stelele vizibile și gazul. Nu doar că materia întunecată este împrăștiată în toate galaxiile, ci masa ei este atât de mare încât domină mișcările fiecărei stele aflate în acestea. Materia întunecată se întinde chiar dincolo de stele, formând un „halou” sferic sau o bulă în jurul oricărui disc de galaxie în spirală plată.

Câștig în greutate Astronomii au trasat acum harta materiei întunecate nu doar în galaxii individuale, ci și în aglomerări de galaxii, care conțin mii de galaxii legate laolaltă de gravitația reciprocă, și în superaglomerări de galaxii, lanțuri de aglomerări dintr-o rețea vastă, care se întinde de-a lungul întregului spațiu.

1998

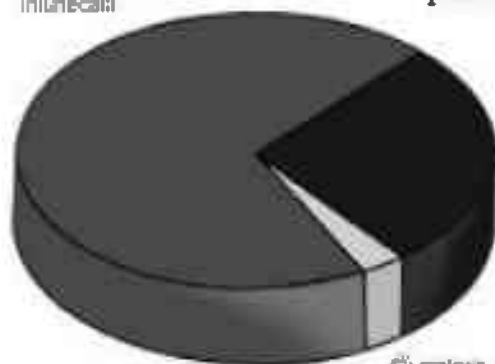
Se deduce că neutrinii au o masă mică.

2000

Sunt detectate MACHO în Calea Lactee.

Materia întunecată apare oriunde acționează gravitația, la orice scară. Dacă adunăm toată materia întunecată, constatăm că aceasta este în cantitate de mil de ori mai mare decât materia luminoasă.

73% energie
întunecată



4% materie normală

Soarta întregului univers depinde de greutatea sa totală. Atracția gravitațională contrabalansează expansiunea universului după explozia Big Bang. Sunt posibile trei rezultate. Fie universul este atât de greu încât gravitația învinge și universul se prăbușește până la urmă în el însuși (un univers închis care sfârșește într-o mare strivire), sau este prea puțină masă, iar universul se extinde pentru totdeauna (un univers deschis), sau universul este perfect echilibrat, iar expansiunea încetinește treptat datorită gravitației, dar într-o perioadă atât de lungă încât nu încetează niciodată. Ultima variantă pare să fie cea mai potrivită în cazul universului nostru, care are exact cantitatea necesară de materie ca să îl încetinească, dar să nu îl oprească niciodată expansiunea.

WIMP și MACHO Din ce ar putea să fie alcătuită materia întunecată? În primul rând, ar putea să fie compusă din nori întunecați de gaz, stele stinse sau planete neluminate. Acestea sunt denumite MACHO sau Massive Compact Halo Objects (Obiecte Compacte Masive cu Halou). Ca alternativă, materia întunecată ar putea fi alcătuită din noi tipuri de particule subatomice, denumite WIMP, prescurtare pentru Weakly Interacting Massive Particles (Particule de Masă cu Interacțiune Slabă), care nu ar avea nici un efect asupra altor tipuri de materie sau asupra luminii.

Astronomii au descoperit MACHO chiar în galaxia noastră. Deoarece MACHO sunt mari, comparabile cu planeta Jupiter, ele pot fi observate individual prin efectul lor gravitațional. Dacă o planetă mare de gaz sau o stea stinsă trece prin fața unei stele, gravitația sa curbează lumina stelei în jurul ei. Curbură focalizează lumina când MACHO se află chiar în fața stelei, astfel încât steaua pare mult mai luminoasă pentru un moment. Acest fenomen se numește „lentilă gravitațională”.

În termenii teoriei relativității, planeta MACHO distorsionează planul spațiu-timp, ca o minge grea care deformează o fâșie de cauciuc, iar această deformare curbează frontul de unde luminoase în jurul ei (vezi p. 164). Astronomii au cercetat această intensificare a strălucirii stelelor la trecerea unei MACHO, în cazul a milioane de stele. Ei au descoperit câteva astfel de flashuri, dar prea puține pentru a explica întreaga cantitate de masă lipsă din Călea Lactee.

MACHO sunt alcătuite din materie normală, sau barioni, constituiți din protoni, neutroni și electroni. Limita cea mai strânsă a cantității de barioni din univers este dată de urmărirea izotopului greu al hidrogenului, deuteriul. Deuteriul a fost produs doar în timpul Big Bangului și nu este generat de stele, deși poate fi ars în acestea. Prin urmare, măsurând cantitatea de deuteriu din norii de gaz din spațiu, astronomii pot estima numărul total de protoni și neutroni care au fost produși în Big Bang, deoarece mecanismul de producere a deuteriului este cunoscut cu exactitate. Acest număr se dovedește a acoperi doar câteva procente din masa întregului univers. Așadar, restul universului trebuie să fie ceva total diferit, cum ar fi WIMP.

Căutarea WIMP este acum în centrul atenției. Deoarece interacționează slab, aceste particule sunt greu de detectat. Un candidat este neutrinul. În ultimul deceniu, fizicienii i-au măsurat masa și au descoperit că este extrem de mică, dar nu zero. Neutrini completează o parte din masa universului, dar, din nou, nu totalul acesteia. Deci încă este loc pentru albe particule mai exotice, care așteaptă să fie descoperite, unele noi pentru fizică, de exemplu axionii și fotinii. Înțelegerea materiei întunecate poate arunca o nouă lumină asupra lumii fizicii.

**” UNIVERSUL ESTE
ALCĂTUIT, ÎN CEA MAI
MARE PARTE, DIN MATERIE
ÎNTUNECATĂ
ȘI ENERGIE ÎNTUNECATĂ ȘI
NU ȘTIM CE ESTE NICI UNA
DIN ACESTEA ”**

Sau: Perlmutter, 1999

Idee de bază

partea întunecată a universului

48 Constanta cosmologica

Einstein a spus despre adăugarea constantei cosmologice în ecuațiile teoriei relativității generalizate că este cea mai mare gafă a sa. Constanta a permis accelerarea sau încetinirea ratei expansiunii universului pentru a compensa gravitația. Einstein nu a avut nevoie de acest număr și l-a abandonat. Dar noi dovezi, din anii 1990, au făcut necesară reintroducerea lui. Astronomii au descoperit că misterioasa energie întunecată face expansiunea universului să accelereze, ceea ce a dus la rescrierea cosmologiei moderne.

Albert Einstein a crezut că noi trăim într-un univers stabil și nu într-unul în care a avut loc Big Bang. Încercând să formuleze ecuațiile care să îl descrie, a dat peste o problemă. Dacă există doar gravitație, atunci totul din univers se va prăbuși până la urmă într-un punct, probabil o gaură neagră. Evident, universul real nu era așa și părea stabil. Așa că Einstein a adăugat încă un termen în teoria sa, pentru a contrabalansa gravitația, un element de respingere, „antigravitație”. A introdus acest termen doar pentru a face ecuația să arate corect, nu pentru că știa despre existența unei asemenea forțe. Dar această formulare a devenit imediat problematică.

Dacă ar exista o contraforță la gravitație, atunci, la fel cum gravitația necontrolată ar putea provoca prăbușirea universului în el însuși, o forță antigravitațională ar putea la fel de ușor să amplifice îndepărtarea regiunilor din univers care nu sunt legate cu ajutorul adezivului reprezentat de gravitație. Pentru a nu permite o astfel de sfârșire a universului, Einstein a preferat să ignore cel de-al doilea termen de

CRONOLOGIE

1915 d.Hr.

Einstein publică teoria relativității generalizate.

1929

Hubble arată că universul se extinde, iar Einstein își abandonează constanta.

respingere și să admită că făcuse o greșală când îl introdusese. Alți fizicieni au preferat, de asemenea, să îl excludă, considerându-l istorie. Sau așa au crezut. Termenul nu a fost uitat – a fost păstrat în ecuațiile relativității, dar valoarea sa, constanta cosmologică, a fost stabilită la zero pentru a-l anihila.

Universul care accelerează În anul 1990, două grupuri de astronomi cartografiau supernove din galaxii îndepărtate pentru a determina geometria spațiului, iar cele două grupuri au descoperit că supernovele îndepărtate păreau mai pale decât ar fi trebuit să fie. Supernovele, exploziile strălucitoare ale stelelor care mor, sunt de mai multe tipuri. Supernovele de tip Ia au o strălucire predictibilă și, deci, sunt utile pentru deducerea distanțelor. La fel ca stelele variabile Cefeide, care au fost folosite pentru măsurarea distanțelor la care se află galaxiile, pentru elaborarea legii lui Hubble, strălucirea intrinsecă a supernovelor de tip Ia poate fi dedusă din spectrul lor luminos, astfel încât se poate spune cât de departe sunt. Acest principiu a funcționat perfect pentru supernovele care sunt destul de aproape, dar supernovele mai îndepărtate erau prea pale. Era ca și cum acestea s-ar fi aflat mai departe de noi decât ar fi trebuit să fie.

Pe măsură ce supernove din ce în ce mai îndepărtate erau descoperite, tiparul diminuării strălucirii odată cu distanța a început să indice că expansiunea universului nu era stabilă, ca în legea lui Hubble, ci accelera. Acesta a fost un șoc profund pentru comunitatea de cercetători ai cosmosului și o enigmă a cărei descifrare continuă astăzi.

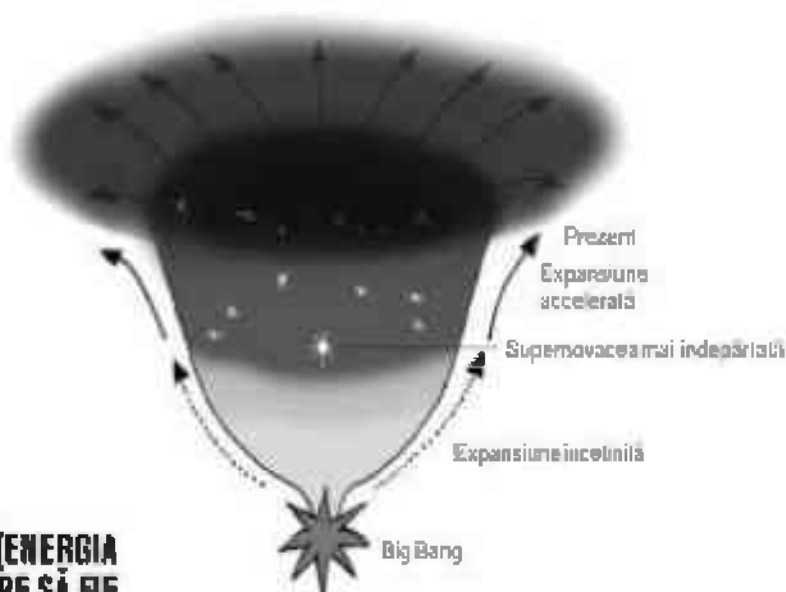
Rezultatele supernovelor se potriveau cu ecuațiile lui Einstein, dar numai dacă se includea un termen negativ care mărea constanta cosmologică de la zero la aproximativ 0,7. Rezultatele obținute pentru supernove, cumulate cu alte date cosmologice, cum ar fi tiparul radiației cosmice de fond, au demonstrat că era

**DE O DEAN ÎNCERCĂM
SĂ MĂSURĂM MUNCĂRE
UNIVERS ÎNCETINEȘTE.
AM REUȘIT ÎNSĂ SFÂRȘII,
AM AFLAT CĂ UNIVERSUL
ACCELEREAZĂ.**

Michael S. Turner, 2007

1998

Datele supernovelor arată
necesitatea reintroducerii
constantei cosmologice.



” ACEASTA (ENERGIA ÎNTUNECATĂ) PARE SĂ FIE CEVA CARE ARE LEGĂTURĂ CU ÎNSUȘI SPAȚIUL ȘI, SPRE DEOSEBIRE DE MATERIA ÎNTUNECATĂ CARE GRAVITEAZĂ, ENERGIA ÎNTUNECATĂ ARE UN EFECT CONTRAR ÎNTR-UN FEL, CONTRACĂRÂND GRAVITAȚIA, FĂCÂND CA UNIVERSUL SĂ FIE RESPINS DE SINE ÎNSUȘI. “

Brian Schmidt, 2006

nevoie de o nouă forță de respingere contrară gravitației. Dar aceasta era o forță destul de slabă. Încă este o enigmă de ce este atât de slabă, întrucât nu există nici un motiv pentru care nu ar lua o valoare mult mai mare și ar domina complet spațiul, în detrimentul gravitației. În schimb, este foarte apropiată ca valoare de gravitație, așa că are un efect minor asupra axei spațiu-timp, așa cum o vedem acum. Acest termen negativ de energie a fost numit „energie întuneată”.

Energia întuneată Originea energiei întunecate este încă necunoscută. Știm doar că este o formă de energie asociată cu vidul din spațiu, generând o presiune negativă în regiunile lipsite de materie supusă gravitației. Prin urmare, face regiunile din spațiul vid să se umfle. Îi știm cu aproximație valoarea din observațiile asupra supernovelor, dar nu știm mai mult. Nu știm dacă este într-adevăr o constantă – dacă are totdeauna aceeași valoare în întreg universul și tot timpul (la fel ca gravitația și viteza luminii) – sau dacă valoarea ei se schimbă în timp, astfel încât este posibil să fi avut o altă valoare imediat după Big Bang, comparativ cu valoarea de acum sau cu cea din viitor. În forma sa mai generală, a fost denumită „chintesența” celei de-a cincea forțe, incluzând toate modurile posibile în care intensitatea ei s-ar putea schimba în timp. Dar încă nu se știe cum se manifestă această forță misterioasă sau cum apare în fizica exploziei Big Bang. Este un subiect fierbinte de studiu pentru cercetători.

Acum înțelegem mult mai bine geometria universului și din ce este alcătuit acesta. Descoperirea energiei întunecate a echilibrat termenii cosmologiei, egalând diferența din bugetul de energie al întregului univers. Prin urmare, acum știm că 4% din acesta este materie normală barionică, 23% este materie exotică nebarionică și 73% este energie întunecată. Aceste numere se adună și dau rezultatul corect pentru un „Universleana Cosânzeana”, aproape de masa critică la care nu este nici deschis, nici închis.

Calitățile misterioase ale energiei întunecate, însă, înseamnă că, chiar dacă știm masa totală a universului, comportamentul său viitor este dificil de prezis, deoarece depinde de răspunsul la întrebarea dacă influența energiei întunecate crește sau nu în viitor. Dacă universul accelerează, în acest moment, energia întunecată este la fel de importantă ca gravitația în domnarea universului. Dar, la un moment dat, accelerația va crește, iar expansiunea mai rapidă va domina gravitația. Prin urmare, soarta universului ar putea fi să se extindă veșnic, din ce în ce mai repede. Au fost elaborate unele scenarii înspăimântătoare – odată ce gravitația este depășită, structurile masive ținute laolaltă de aceasta se vor destrăma și vor fi pulverizate, chiar și galaxiile se vor destrăma, până la urmă, apoi stelele se vor evapora într-o ceață de atomi. În final, presiunea negativă ar putea distruge atomii, lăsând doar o mare de particule subatomice.

Cu toate acestea, deși puzzle-ul cosmologiei a fost rezolvat și au fost măsurate multe dintre dimensiunile care descriu geometria universului, încă sunt unele întrebări importante la care nu s-a răspuns. Nu știm ce este 95% din univers, nici ce este, de fapt, această nouă forță. Așa că nu este încă momentul să ne culcăm pe lauri. Universul și-a păstrat misterul.

” TREBUIE SUBLINIAT, ÎNSĂ, CĂ O CURBURĂ POZITIVĂ A SPAȚIULUI ESTE INDICATĂ DE REZULTATELE NOASTRE, CHIAR DACĂ TERMENUL SUPLEMENTAR (CONSTANTA COSMOLOGICĂ) NU ESTE INTRODUS. ACEST TERMEN ESTE NECESAR DOAR CU SCOPUL DE A FACE POSIBILĂ O DISTRIBUȚIE QVASISTATICĂ A MATERIEI. “

Albert Einstein, 1918

**Idee de bază
a cincea forță**

49 Paradoxul Fermi

Să găsim viață altundeva în univers ar fi cea mai mare descoperire din toate timpurile. Enrico Fermi s-a întrebat de ce, date fiind vârsta și vastitatea universului și prezența a miliarde de stele și de planete, care există de miliarde de ani, nu am fost contactați încă de vreo civilizație extraterestră. Acesta a fost paradoxul său.

Discutând cu colegii lui în timpul unui prânz, în 1950, profesorul de fizică Enrico Fermi ar fi întrebat „Unde sunt ei?” Galaxia noastră are miliarde de stele și sunt miliarde de galaxii în univers, iar aceasta înseamnă trilioane de stele. Dacă doar o fracțiune dintre acestea au planete, aceasta înseamnă o mulțime de planete. Dacă o fracțiune dintre aceste planete adăpostesc viață, atunci ar trebui să fie milioane de civilizații. Așadar, de ce nu le-am văzut? De ce nu au luat legătura cu noi?

Ecuatia lui Drake În 1961, Frank Drake a scris o ecuație pentru probabilitatea existenței pe o altă planetă a Căii Lactee a unei civilizații extraterestre cu care să putem intra în contact. Aceasta este cunoscută ca ecuația lui Drake. Ne spune că există o șansă să coexistăm cu o altă civilizație, dar probabilitatea este încă destul de incertă. Carl Sagan a sugerat odată că milioane de civilizații extraterestre ar putea popula Calea Lactee, dar ulterior a revizuit în minus estimarea, iar, de atunci, alții au afirmat că ar fi doar o civilizație, cea umană. La peste o jumătate de secol după ce Fermi a pus întrebarea, încă nu am auzit nimic. Cu toate sistemele noastre de comunicații, nimeni nu ne-a sunat. Cu cât explorăm mai mult vecinătatea noastră, cu atât mai pustie pare. Nici un semn concret al oricărei forme de viață, nici măcar cea mai simplă bacterie, nu a fost descoperit pe Lună, Marte, asteroizi, planetele de la marginea sistemului

CRONOLOGIE

1950 d.Hr.

Fermi întreabă de ce nu am intrat în contact cu extratereștri.

1961

Drake își elaborează ecuația.

solar și sateliți. Nu există semne de interferență a luminii stelelor care ar putea indica mașini plasate pe orbită, care să culeagă energie. Și nu pentru că nu ar fi căutat nimeni. Dată fiind miza, se dă o mare atenție căutării inteligenței extraterestre.

Căutarea vieții Așadar, cum se caută semne de viață? Prima modalitate este să începem să căutăm microbi în sistemul nostru solar. Șaavanți au cercetat roci de pe Lună, dar acestea sunt bazalturi lipsite de viață. Despre Marte s-a spus că ar găzdui rămășițe de bacterii, dar încă nu s-a dovedit că bulele ovoide din rocile de pe respectiva planetă ar fi adăpostit viață extraterestră și nu au fost contaminate după ce au căzut pe Pământ sau nu au fost generate prin procese geologice naturale. Chiar și fără probe de roci, camerele de luat vederi instalate pe nave spațiale sau pe module de aterizare au cercetat suprafața planetei Marte, a asteroidilor și chiar a unui satelit din zona cea mai îndepărtată a sistemului solar – Titan, care orbitează planeta Saturn.

Dar suprafața marțiană este un deșert uscat de nisip și roci vulcanice, nu foarte diferit de deșertul Atacama din Chile. Suprafața lui Titan este umedă, îmbibată cu metan lichid, dar, conform descoperirilor de până acum, lipsită de viață. Unul dintre sateliții lui Jupiter, Europa, a fost menționat ca un obiectiv pentru viitoare căutări ale vieții în sistemul nostru solar, întrucât ar putea adăposti mări de apă lichidă sub suprafața sa înghețată. Cercetătorii plănuiesc o misiune spațială care ar urma să foreze prin crusta de gheață și să studieze ce se află sub aceasta. Alți sateliți din afara sistemului nostru solar sunt activi geologic, eliberând căldură în timp ce sunt atrași și respinși de gravitație pe orbitele lor din jurul planetelor gigante de gaz. Prin urmare, apa lichidă s-ar putea să nu fie o raritate în vecinătatea sistemului nostru solar, stârnind așteptări că, într-o zi, s-ar putea descoperi viață. Navele spațiale trimise

**” CINE SUNTEM?
CONSTATĂM CĂ TRĂIM PE
O PLANETĂ NEÎNSEMNATĂ
A UNEI STELE OARECARE,
PIERDUTĂ ÎNTR-O GALAXIE
ÎNGHESUITĂ ÎNTR-UN COLȚ
UITAT AL UNIVERSULUI,
ÎN CARE SUNT MULT MAI
MULTE GALAXII DECÂT
OAMENI. “**

Wernher von Braun, 1960

1996

Meteoriti din Antarctica indică
existența unei forme primitive
de viață pe Marte.

Ecuația lui Drake

$$N = N_0 \times f_1 \times n_p \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5$$

unde

N este numărul de civilizații din Călea Lactee
sau câtor emii electromagnetice sunt
detectabile

N_0 este numărul de stele din galaxie

f_1 este fracțiunea dintre aceste stele
cu sisteme planetare

n_p este numărul planetelor din sistemul
planetar cu un mediu potrivit pentru viață

f_2 este fracțiunea dintre aceste planete

potrivite pe care viața (chiar apare

f_3 este fracțiunea dintre aceste planete

cu viață pe care apare viață inteligentă

f_4 este fracțiunea dintre aceste civilizații

care dezvoltă o tehnologie care emite în
spațiu semnale detectabile ale existenței sale

f_5 este fracțiunea din durata de viață a
unei planete în care astfel de civilizații emit

în spațiu semnale detectabile (în cazul
Pământului, această fracțiune este, până
acum, foarte mică)

În această zonă sunt sterilizate intensiv, pentru a nu fi contaminate cu microbi de pe Pământ.

Dar microbii nu sînt acasă, ca ET din filmul lui Spielberg. Care este situația cu animale sau plante mai sofisticate? Acum, când sunt detectate planete individuale în jurul stelelor îndepărtate, astronomii fac planuri pentru a descompune lumina acestora ca să caute elemente chimice care ar putea susține sau indica existența vieții. Indicii spectrale ale ozonului sau ale clorofilei ar putea fi detectate, dar pentru aceasta este nevoie de observații exacte, posibile în următoarea generație de misiuni spațiale, cum ar fi Terrestrial Planet Finder (Căutătorul de Planete de tipul Terrei) al NASA. Aceste misiuni ar putea descoperi cândva o planetă soră a Pământului, dar, dacă o vor face, va fi aceasta populată cu oameni, pești ori dinozauri sau va conține doar continente și mări pustii, fără viață?

Contact Viața de pe alte planete, chiar unele ca Pământul, ar putea să fi evoluat diferit de cea de pe Pământ. Așa că nu este sigur că extraterestrii de acolo ar fi capabili să comunice cu noi, cei de pe Pământ. De când radiourile și televiziunile au început să emită, semnalele lor s-au împrăștiat departe de Pământ, călătorind cu viteza luminii. Așadar, orice fan al televiziunii din Alpha Centauri (la distanță de 4 ani-lumină) ar privi programele de pe Pământ de acum 4 ani. Filmele alb-negru au ajuns la steaua Arcturus, iar Charlie Chaplin ar putea să fie vedetă pe Aldebaran. Pământul emite, deci, o mulțime de semnale, dacă există o antenă care să le recepționeze. Nu ar face și o altă civilizație avansată același lucru?

Radio astronomii observă stelele din apropiere, căutând semne ale unor semnale nenaturale.

Spectrul undelor radio este vast, așa că radioastronomii se concentrează asupra frecvențelor apropiate de tranziții naturale de energie, cum ar fi cele ale hidrogenului, care ar trebui să fie aceleași peste tot în univers. El caută transmisiuni care sunt regulate sau structurate, dar care nu sunt generate de nici un obiect astronomic cunoscut. În 1967, Jocelyn Bell, care urma studii postuniversitare, a fost extrem de surprinsă, la Cambridge, în Anglia, când a descoperit pulsuri regulate de unde radio venind dinspre o stea. Undi au crezut că acestea erau un cod Morse extraterestru, dar, de fapt, era vorba despre un nou tip stea neutronică, numită acum pulsar. Deoarece acest proces de scanare a mii de stele ia mult timp, în SUA a fost inițiat un program special, numit SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence, Căutarea Inteligenței Extraterestre). Deși au fost analizate date adunate mulți ani, nici un semnal straniu nu a fost detectat încă. Alte radiotelescoape caută și ele, ocazional, dar nici acestea nu au observat nimic care nu are o origine pământeană.

Plecați la prânz. Deci, dat fiind faptul că ne putem gândi la multe modalități de a comunica și de a detecta semne de viață, de ce nu ne răspunde la apehuri sau nu le trimite pe ale sale nici o civilizație? De ce este paradoxul lui Fermi încă valabil? Sunt mai multe ipoteze. Poate că viața există doar pentru scurt timp într-o stare avansată în care comunicarea este posibilă. De ce ar fi așa? Poate că viața inteligentă se epuizează rapid. Poate că este autodistructivă și nu supraviețuiește prea mult, astfel încât șansele să fie capabilă să comunice și să aibă în apropiere pe cineva căruiă să îi comunice sunt, într-adevăr, foarte mici. Sau sunt scenariii mai paranoidice. Poate că extraterestrii, pur și simplu, nu vor să comunice cu noi și suntem izolați deliberat. Sau, poate, sunt prea ocupați și nu au ajuns încă să facă asta.

” SOARELE NOSTRU ESTE UNA DINTRE 100 DE MILIARDE DE STELE DIN GALAXIA NOASTRĂ. GALAXIA NOASTRĂ ESTE UNA DINTRE MILIARDELE DE GALAXII CARE POPULEAZĂ UNIVERSUL. AR FI CULMEA ÎNGĂMFĂRII SĂ CREDEM CĂ NOI SUNTEM SINGURELE LUCRURI VI DIN ACEASTĂ IMENSITATE. “

Carl Sagan, 1980

**Idee de bază
e cineva acolo?**

50 Principiul antropic

Principiul antropic afirmă că universul este așa cum este pentru că, dacă ar fi diferit, noi nu am fi aici ca să îl observăm. Este o explicație a motivului pentru care orice parametru din fizică ia valoarea pe care o are, de la mărimea forțelor nucleare la energia întunecată și la masa electronului. Dacă unul dintre acești parametri ar varia chiar puțin, atunci universul ar fi de nălocuit.

Dacă forța nucleară tare ar fi puțin diferită, atunci protonii și neutronii nu ar mai sta împreună pentru a alcătui nucleee și nu s-ar putea forma atomi. Elementele chimice nu ar exista. Carbonul nu ar exista, deci nici biologia, iar oamenii nu ar exista. Dacă nu am exista, cine ar „observa” universul și l-ar împiedica să existe doar ca o supă cuantică de probabilități?

De asemenea, chiar dacă atomii există, iar universul a evoluat pentru a alcătui toate structurile pe care le cunoaștem astăzi, atunci, dacă energia întunecată ar fi puțin mai puternică, galaxiile și stelele ar fi deja îndepărtate unele de altele. Așadar, mici schimbări ale valorii constantelor fizice, ale mărimii forțelor sau ale masei particulelor pot avea implicații catastrofale. Altfel spus, universul pare să fie reglat fin. Forțele sunt „exact cum trebuie” pentru ca omenirea să evolueze așa cum o face. Este o întâmplare că trăim într-un univers vechi de 14 miliarde de ani, în care energia întunecată și gravitația se echilibrează reciproc, iar particulele subatomice iau formele pe care le au?

Exact așa în loc să afirme că omenirea este specială și că întregul univers a fost alcătuit doar pentru noi, probabil o presupunere destul de arogantă, principiul antropic explică faptul că nu este nimic surprinzător în toate acestea. Dacă oricare

CRONOLOGIE

1904 d.Hr.

Alfred Wallace pune problema locului omului în univers.

1957

Dickie scrie că universul este restricționat de factori biologici.

dintre forțe ar fi puțin diferite, atunci, pur și simplu, nu am fi aici ca să le observăm. La fel cum există multe planete, dar, din câte știm, doar una are condițiile potrivite pentru viață, universul ar fi putut să fie alcătuit în multe moduri, dar există doar în forma în care noi am putut să apărem. De asemenea, dacă părinții mei nu s-ar fi întâlnit niciodată, dacă motorul cu combustie internă nu ar fi fost inventat, iar tatăl meu nu ar fi putut să meargă în nord ca să o întâlnească pe mama, atunci eu nu aș fi fost aici. Acest lucru nu înseamnă că întregul univers a evoluat doar ca să pot eu să exist. Dar faptul că eu exist a presupus, între altele, ca motorul să fi fost inventat, iar astfel se îngustează spectrul universurilor în care eu aș putea să mă aflu.

Principiul antropic a fost folosit ca argument în fizică și în cosmologie de către Robert Dicke și Brandon Carter, deși argumentele sale sunt cunoscute filosofilor. O formulare, principiul antropic slab, afirmă că noi nu am fi aici dacă parametrii ar fi diferiți, prin urmare, faptul că noi existăm restrânge proprietățile universurilor fizice locuibile în care ne putem afla. O versiune mai puternică subliniază importanța propriei noastre existențe, arătând că viața este un rezultat necesar al nașterii universului. De exemplu, este nevoie de observatori pentru a face un univers cuantic să devină real, observându-l. John Barrow și Frank Tipler au sugerat o altă versiune, potrivit căreia procesarea informației este scopul fundamental al universului, prin urmare, existența sa trebuie să genereze creaturi capabile să proceseze informații.

Mai multe lumi Pentru a produce oameni, universul trebuie să fie bătrân, astfel încât să existe suficient timp pentru producerea carbonului de către generațiile anterioare de stele, iar forțele nucleare tari și slabe trebuie să fie „exact cum trebuie” pentru a permite aplicarea principiilor fizicii nucleare și ale chimiei. Gravitația și

**” VALORILE OBSERVATE
ALE TUTUROR CANTITĂȚILOR
COSMOLOGICE NU SUNT LA
FEL DE PROBABILE, DAR ELE
IAU VALORI RESTRICȚIONATE
DE CERINȚA DE A EXISTA
LOCURI ÎN CARE SĂ POATĂ
EVOLUA VIAȚĂ PE BAZĂ DE
CARBON ȘI... CA UNIVERSUL
SĂ FIE SUFICIENT DE BĂTRÂN
PENTRU CA ACEST LUCRU SĂ
SE FI PRODUS DEJA. ”**

John Barrow și Frank Tipler, 1986

1973

Brandon Carter invocă
principiul antropic.

Bule antropice

Putem evita dilema antropică dacă mai multe universuri paralele, sau bule, există alături de cel în care trăim. Fiecare bulă univers poate avea parametri fizici ușor diferiți. Aceștia modifică modul în care evoluează fiecare univers și dacă vreunul dintre ei asigură o nișă în care să poată forma viața. Din câte știm, viața

este pretențioasă și, prin urmare, va siega doar câteva universuri. Dar, întrucât sunt atât de multe bule univers, aceasta este o posibilitate, iar existența noastră nu este atât de improbabilă.



energia întunecată trebuie, de asemenea, să fie în echilibru ca să formeze stele și să nu sfâșie universul. Mai departe, stelele trebuie să fi trăit îndeajuns de mult ca să lase să se formeze planete și să fie suficient de mari ca să poată exista o planetă blândă, temperată, care are apă, azot, oxigen și toate celelalte molecule necesare pentru nașterea vieții.

Deoarece fizicienii pot imagina universuri în care aceste cantități sunt diferite, unii au sugerat că aceste universuri pot fi create la fel ca universul nostru. Ele pot exista ca universuri paralele sau multiversuri, astfel încât noi să existăm doar într-o concretizare.

Ideea de universuri paralele se încadrează în principiul antropic prin faptul că permite și altor universuri să existe acolo unde noi nu putem. Acestea pot exista în multiple dimensiuni și sunt împrăștiate de-a lungul aceluiași parametri ceruți de teoria cuantică pentru ca observațiile să aibă rezultate (vezi p. 115).

Pe de altă parte Principiul antropic își are criticii săi. Unii cred că este un truism – este așa pentru că este așa – și că nu ne spune prea multe lucruri noi. Alții sunt nemulțumiți că avem doar acest univers ca să îl testăm și preferă să studieze matematica pentru modalități de a regla universul nostru spre a-l face să iasă din ecuații din cauza fizicii. Ideea multiversului se apropie de această idee prin faptul că permite un număr infinit de alternative. Alți teoreticieni, incluzând cercetători ai teoriei coardelor și susținători ai teoriei M, încearcă să treacă dincolo de Big Bang pentru a regla fin parametrii. Ei cercetează marea cuantică dinainte de Big Bang ca pe un fel de fundal de energie și se întreabă unde este mai probabil să se sfârșească un univers dacă îl lași să se desfășoare. Astfel, încercând să își minimizeze energia, universul poate căuta destul de natural anumite combinații de parametri, indiferent dacă noi suntem un produs al său, un miliard de ani mai târziu.

**” PENTRU A FACE
O PLĂCINTĂ CU MERE
DIN RESTURI, TREBUIE
MAI ÎNTÂI SĂ CREEZI
UN UNIVERS. “**

Carl Sagan, 1980

Susținătorii principiului antropic și alții, care caută metode mai matematice pentru a sfârși cu universul pe care îl știm, sunt în dezacord în legătură cu modul în care am ajuns unde ne aflăm acum și chiar asupra faptului dacă aceasta este sau nu o întrebare interesantă de pus. Odată ce mergem dincolo de Big Bang și de universul observabil, în domeniile universurilor paralele și ale câmpurilor preexistente de energie, suntem, de fapt, pe terenul filosofiei. Dar orice ar fi făcut universul să apară în actuala lui formă, suntem norocoși că a evoluat așa mii de miliarde de ani de atunci încolo. Este de înțeles că e nevoie de timp pentru a pregăti chimia necesară pentru viață. Dar faptul că noi trăim aici, într-un anumit moment din istoria universului, în care energia întunecată este relativ benignă și echilibrează gravitația, este mai mult decât un noroc.

Idee de bază
universul exact așa
cum trebuie să fie

Glosar

acelerație Schimbarea vitezei a ceva (într-un interval) de timp dat.

aleatoriu Un rezultat aleatoriu nu este determinat doar de întâmplare, de hasard, fără să fie favorizat de vreun rezultat anume.

atom Cea mai mică unitate de materie care poate exista independent. Atomii conțin un nucleu central dar, alături din protoni (încărcați pozitiv) și neutroni (fără încărcătură electrică), înconjurați de un nor de electroni (încărcați negativ).

boson O particulă cu o funcție de valoare simetrică; doi bosoni pot ocupa aceeași stare cuantică. (vezi și fermion)

câmpul O modalitate de transmitere la distanță a forței. Electricitatea și magnetismul sunt câmpuri, la fel și gravitația.

cuantă Cea mai mică cantitate de energie, așa cum este folosită în teoria cuantică.

deplasare spre roșu Deplasarea lungimii de undă a luminii de la un obiect ce se îndepărtează, din cauze efectului Doppler sau o expansiune cosmică. În astronomie, este o modalitate de a măsura distanțele până la stele și galaxii îndepărtate.

difracție Împărțirea undelor la trecerea acestora printr-o fântă, cum ar fi valurile mării trecând printr-o gaură dintr-un perete.

dualitate particulă-undă

Comportament înfăptit mai ales la lumină, uneori similar unei unde, altori asemănător unei particule.

elasticitate Materialele elastice se supun legii lui Hooke. Ele se întind cu o cantitate proporțională cu forța aplicată.

electriceitate Circulația sarcinii electrice. Are o anumită tensiune (energie), poate provoca un curent (o curgere) și poate fi sincronizată sau opreșă de o rezistență.

energie Proprietatea a ceva care dălează potențialul de schimbare al aceluia lucru. Ea se conservă la nivel global, dar poate fi schimbată între diferitele tipuri.

entropie O măsură a dezordinii. Cu cât ceva este mai ordonat, cu atât entropia lui este mai mică.

față Distanța relativă dintre o undă și următoarea, măsurată în fracțiuni de lungimi de undă.

O lungime de undă cuprinsă corespunde cu 360 de grade; dacă deplasarea relativă este de 180 de grade, cele două unde sunt în opoziție de fază. (vezi și interferență)

fermion O particulă care respectă principiul exclusivității lui Pauli, cunoscut căruia doi fermioni nu pot avea aceeași stare cuantică. (vezi și boson)

forță O ridicare, trageră sau împingere, care determină mișcarea sau schimbarea sistemului. Al doilea principiu al lui Newton definește forța ca fiind proporțională cu accelerația pe care o produce.

foton Lumina manifestându-se ca particulă.

frecvență Ritmul în care vârful unei unde trece printr-un anumit punct.

front de undă Linia trasată de vârful unei unde.

funcție de undă În teoria cuantică, este o funcție matematică descriind toate caracteristicile unei particule sau ale unui corp, incluzând probabilitatea să aibă anumite proprietăți sau să se afle într-un loc anume.

galaxie Un grup sau un nor de milioane de stele, ținute laolaltă de gravitație. Galaxia noastră, Calea Lactee, este una în spirală.

gaz Un nor de atomi sau de molecule între care nu există legături individuale. Gazele în sine nu au margini, dar pot fi închise într-un container.

gravitația O forță fundamentală prin care masele se atrag una pe alta. Gravitația este descrisă de teoria relativității generale a lui Einstein.

impuls Produsul dintre masă și viteză, care are atât de greu este să oprești un obiect aflat în mișcare.

inertie Vâră înăbușă

interferență Combinarea unor unde de faze diferite, din care poate rezulta intensificarea lor (dacă undele sunt în fază) sau anihilarea reciprocă (dacă undele sunt defazate).

ipoteză a lumilor multiple În teoria cuantică și în cosmologie, ideea că există numeroase universuri paralele, care se decuplează pe măsură ce se produc evenimente, dar noi ne aflăm în orice moment de timp pe o singură linie.

izotop Element chimic care există în diferite forme, cu același număr de protoni, dar cu numere diferite de neutroni în nucleu, adică cu mase atomice diferite.

Întindere Cu cât se alungește un sistem atunci când este tras, raportat la unitatea de lungime.

legătură cuantică În teoria cuantică, ideea că particulele care au legătură una cu alta, la un moment dat, poartă cu ele informații și, după aceea, putând fi utilizate pentru detectare instantanee.

lungime de undă Distanța de la un vârf de undă la următorul.

masă O proprietate care este echivalentă cu numărul de atomi sau cantitatea de energie conținută de un sistem. O noțiune similară este inerția, care descrie masa în termenii rezistenței la mișcare. În sensul că un obiect masiv (mai greu) este mai dificil de mișcat.

metrică spațiu-timp Spațiul geometric combinat cu timpul într-o singură funcție matematică, în teoria relativității generale. Este deseori reprezentată ca o suprafață de cauciuc.

nucleu Miezul central dur al atomului, format din protoni și neutroni (nucloni) ținându-se de forța nucleară tare.

observator În teoria cuantică, observatorul este cel care face un experiment și îl măsoară rezultatul.

presiune Definiată ca forță pe unitatea de suprafață. Presiunea unui gaz este forța exercitată de atomii sau moleculele aceluia asupra suprafeței interioare a încălții în care este închis gazul.

quark O particulă fundamentală. Din combinarea a trei astfel de particule se formează protonii și neutronii. Formulele de materie conținute din quarkuri sunt numite hadroni.

quibți Fragmente de cuantă. Asemănători „biților” computerelor, dar conțin informație cuantică.

radiație a corpului negru Strălucirea slabă emisă de un obiect negru la o anumită temperatură, care are un spectru caracteristic.

radiație cosmică de fond O slabă strălucire a microundelor, care umple spațiul. Este o rămășiță a Big Bangului care s-a răcit de atunci și care a deviat spre roșu, la o temperatură de 3 grade Kelvin.

reflexie Întoarcerea înapoi a unei unde care lovește o suprafață, cum ar fi o rază de lumină îndreptată spre o oglindă.

refracție Devierea undelor, de obicei din cauza înclinării lor la trecerea printr-un alt mediu, cum ar fi trecerea luminii printr-o prismă.

spectru Secvența de unde electromagnetice, de la unde radio

până la raze X și raze gamma, trecând prin lumina vizibilă.

supernovă Explosia unei stele cu adepți și o anumită masă, când ajunge la sfârșitul vieții sale.

temperatură Măsură pe unitatea de lungime, resimțită intern de un corp solid atunci când pe el este aplicată o greutate.

turbulență Când curgerea fluidelor este prea rapidă, acestea devin instabile și turbulente, „spargându-se” în buleboane și vârtejuri.

univers Integralitatea spațiului și a timpului. Prin definiție, el include totul, dar unii fizicieni vorbesc despre universuri paralele, disticte de al nostru. Universul nostru are circa 14 miliarde de ani, vârstă determinată din viteza lui de expansiune și din vâztele stelelor.

văzută a universului vezi univers vid Un spațiu care nu conține nici un atom. În natură nu există vid absolut – chiar și în spațiul cosmic găsim câțiva atomi pe centimetru cub – dar fizicienii s-au apropiat mult de obținerea lui în laborator.

viteză (vector) Vectorul viteză înseamnă viteză într-o anumită direcție. Este distanța parcursă într-o unitate de timp de un corp care se mișcă în direcția respectivă.

Indice

acceleație 9–10, 16, 18, 204
 accelerații de particule
 177, 189, 147, 144
 ADN, dublu elică 68, 70, 71
 aerodinamică 53–54
 Aury, George, înțelepciune lui
 Aury 74
 alfa, radiații 130
 alitudine 34–35, 47
 antimaterie 132–135,
 144–148
 apă 58, 60–66
 armă nucleară 108,
 126–129, 150
 atomi 204
 câmpuri magnetice 91
 forța nucleară tare 131,
 140, 148, 200
 fuziune nucleară 140
 împărțire 136–139
 învelișuri de energie
 100–103, 109
 particule subatomice
 178–180, 144–148,
 148–150
 principiu de excludere
 130
 Avogadro, numărul lui
 37, 39
 barioni 146, 189, 191
 Bernoulli, Daniel 54
 ecuațiile lui Bernoulli
 52–55
 beta, radiație 130, 145, 150
 Big Bang 175, 179, 180–189,
 186–187
 Bohr, Niels 101–102, 108,
 109, 187
 Bose, Satyendra Nath 123,
 126
 bosoni 123, 126, 135, 145,
 146, 147, 151–155, 204
 bosoni Higgs 147, 152–155
 Bragg, William L. 69, 103
 legea lui Bragg 69–71
 Briogile, Louis-Victor de
 84, 102
 bungee jumping 30
 câștiguri
 energie 21–22
 și culoare 97–99
 și lumină 92–95
 termodinamică 36–39
 rețea 26, 30–33, 61
 Copenhaga, interpretarea
 106–112, 116
 corp negru, radiație 43,
 91–95, 204
 cură 85, 92, 100, 182, 205
 căderi
 căderea turnului 12, 31
 și căderi 97–99

vechii lui Newton 56–59
 căderea 56, 58–59
 deplasare spre roșu 79, 175,
 176–179, 181, 205
 difracție 68, 72–75, 99, 204
 difuzie 45–46
 Einstein, Paul 91, 114, 132, 134
 Doppler, Christian 77
 efect Doppler 76–79, 178
 efectul Einstein 43, 50
 efectul fotoelectric 96–99
 Einstein, Albert 98
 condensabile
 Einstein 128
 constante cosmologice
 102–105
 energie și masă 5, 22
 lumii 57, 96–99
 mișcarea browniană
 45, 98
 paradoxul EPR 116–119
 teorie relativității 7, 91,
 98, 140, 182–187, 192
 electrodinamică 204
 ritmuri 78, 83
 condensatori 86–87
 sumari 82–84, 87
 efectul fotoelectric 96–99
 electrodinamică 80
 energie nucleară 137,
 138
 fuziune nucleară
 142–143
 izolatori 81, 82
 legea lui Ohm 83
 regula minimei de energie
 84–87
 rezistență 82, 83
 semiconductori 81, 89
 superconductivitate
 114–127
 transformatori 87
 tensiune 82, 85, 86
 electro-magnetism
 inducție 86–87, 91
 radiație 95
 unde 22, 57–58, 73,
 88–91, 94, 100
 electroni
 antimaterie 132, 144
 oscilații undei 100–103
 efectul fotoelectric 97, 99
 leptoni 146
 modelul lui Rutherford
 118–121
 perechi Cooper 125–127
 principiul de excludere
 120–121, 128
 sarcină electrică 80,
 81, 84
 energie 204
 conservare 20–21, 34–35

entropie 37–38
 și masă 5, 22
 unde 60, 63
 energie cinetică 21–23, 25
 energie electrică 21, 28–31
 energie întinse 192,
 184–189, 200, 203
 entropie 37–38, 94, 204
 sau 74–75, 86
 Faraday, Michael 85–86
 Fermat, Pierre 66, 67
 Fermi, Enrico 121, 137–138
 paradoxul lui Fermi
 100–103
 Fermioni 121, 127, 128, 144,
 147, 204
 Feynman, Richard 150, 159
 diagrame Feynman
 142–153
 fuziune nucleară 136–138,
 139
 Fleming, John Ambrose,
 regula minimei de energie
 84–87
 fluide
 ecuațiile lui Bernoulli
 52–55
 ecuațiile Navier-Stokes
 35
 superfluide 125, 150
 vechii lui Newton 52
 flux de câmp 53, 54, 79
 forțe 204
 câmpul Higgs 153
 elastic 29
 electrodinamică 151, 152
 electromagnetism 89, 153
 electrodinamică 85
 legile lui Newton 8–12, 16
 nucleară tare 131, 140,
 144, 148, 200
 nucleară slabă 146, 148,
 150, 151, 152, 192
 forță electromagnetice 85
 forța 86–87, 96–99, 100,
 105, 205
 fractali 46–47, 50
 Franklin, Benjamin 81
 frecvența undelor 61, 204
 fulger 80, 81, 87
 fuziune la rece 142
 fuziune nucleară 140–143,
 181, 182
 Galileo Galilei 5–6, 20–21
 gamma, raze 99, 88, 105,
 130
 găuri de vierme 167, 171
 găuri negre 166–171, 183
 Gauss, legea lui 90–91
 gaz 204
 Căderea lui Maxwell 39

gluoni 146, 147
 legea gazului ideal 32–35
 hădă 42
 Hecke, Johann Wolfgang
 von 18
 gravitație 204
 energie potențială 21, 25
 experimentalul lui Galileo
 30
 găuri negre 169
 gravitație 187
 legea lui Newton 16–19
 matrice întinse 183,
 190
 principiul lui Mach 4, 5
 reflexivitate generală
 164–167, 184, 190
 și energia întinse 183,
 202
 vechii lui Newton 52
 unde 166
 hidroni 145, 154
 Heisenberg, Werner 106,
 108
 principiul incertitudinii
 104–108, 112
 hidrogen 101–102, 130, 131,
 140–143, 181, 182, 183
 Hooke, Robert 29, 31, 57
 legea lui Hooke 28–31
 Hubble, legea lui 176–179,
 181
 Huygens, Christian 61
 principiul lui Huygens
 50–53, 88
 imitare 5–8
 imitarea 79, 73, 75,
 88–89, 104
 Kelvin, lord 43, 55
 legea Kelvin 40–41
 Kepler, Johannes 13, 179
 legile lui Kepler 12–15
 Leibniz, Gottfried 4, 32
 lentile 65, 66, 67, 74–75, 81
 leptoni 145, 146, 187
 longitudine 30–31
 Lorenz, Edward 49, 50
 lumină
 căderea 57, 58, 64–67,
 145, 186, 190
 difracție 68, 72–75
 dualitatea undă-particula
 97–99
 efect fotoelectric 96–99
 interferență 59
 și culoare 11, 31, 56–59,
 93–94
 mediu gazos 43
 și căderi 92–95
 reflexie 88
 refracție 64–67

- relativitate specială 180-183
 ultraviolet 59, 94-99
 unde 57-58, 88-89, 95
 viteză 22, 160-163
 lungime de undă 60-61, 89, 99, 205
Mach, Ernst 7
 principiul lui Mach 6-7, 134
MACHO 100-101
 magnetism 89, 91
 viziile electromagnetism
 mist 5, 9-10, 16, 22, 23, 204
 materie întinseală 100-101
Maxwell, James Clerk 86, 90
 demonstrații lui Maxwell 39
 ecuațiile lui Maxwell 88-91, 94
 mecanică cuantică
 antimaterie 102-105
 condensate Bose-Einstein 128
 criptografie 116, 100-119
 dezvoltare 75, 95, 98, 100, 101-103, 106-107
 electrodinamică cuantică (QED) 150, 151
 interpretare Copenhaga 108-112, 116
 ipoteza mai multor lumi 115, 204
 influențe 116, 118, 119, 204
 măsuri metrice 100-107
 paradoxul EPR 116-119
 posca lui Schrödinger 132-135
 principiul excluderii 130-133
 și electromagnetism 91
 și relativitate 132, 134
 teoria coardei 159
 teoria ale gravitației 167
 principiul incertitudinii 104-107
meta-materiale 66-67
 miază 131, 146
 microonde 59, 89
 raze 84, 179, 182-183, 185-186, 204
 mișcare browniană 44-47, 98
 mișcare
 armonici simpli 14-17
 bosoni 44-47, 98
 efectul Doppler 76-79
 legile lui Newton 8-11
 perpendiculare 38-39, 136
 principiul lui Mach 6-7
 celuloză de testare 162-163
 teoria lui Hubble 51
 mișcare 146
 mișcare 32, 33
 moment cinetic 22, 55, 204
 Kevlar Stokas, ecuații 55
 neutrini 120, 136-137, 144, 145, 181
 neptun 80, 89, 105, 121, 122, 128, 130-131, 133
Newton, Isaac 11, 31
 gravitație 6, 16-19
 mișcare 8-11
 teoria culorii 56-59
 nucleoni 130
 nucleu 128-131, 136-137, 144-145, 205
Ohm, legea lui 83
Obers, paradoxul lui 172-175
Pământ, rotație a 25
 particule
 bosoni Higgs 152-155
 diagrame Feynman 148-151
 modelul standard 144-147, 155
 teoria coardei 156-159
Pauli Wolfgang 122
 principiul excluderii 120-123, 170
 pendulum 20-22, 24-25, 61
Planck, Max 93, 163
 legea lui Planck 92-95, 100
 planete
 legile lui Kepler 12-15, 17
 Neptun 18, 51
 Saturn 81, 83, 89
 teoria lui Hubble 51
Podolsky, Boris 116-119
 polen 44-45
 posibilități 132-134
 presiune 32, 34-35, 205
 principiul incertitudinii 104-106, 110
 profund 80, 99, 121, 128, 129, 131, 133
 pulsar 164, 199
 quantum 144-147, 181, 205
 radiație 130, 138-139
 raze X 59, 68-70, 80
 reflexie 66, 93-94, 205
 refracție 64-67, 205
 relaționare, teorii 91
 teoria cuantică 132, 134
 teoria relativității generale 98, 164-167, 192
 teoria relativității
 cantitate 98, 160-163
 rezervă 26-27
Römer, Wilhelm 71
Rowen, Nathan 116-119
Rutherford, Ernest 128-131
 Schrödinger, Erwin 114
 ecuația undei 100-103, 104, 108, 114
 posca lui Schrödinger 132-135
 semiconductori 81, 99
 sistemul spațiu-timp 186-188, 189, 195
Snell, legea lui 64-67
 spațiul, schimbare în
 dilatarea timpului 187-189
 satelitul COBE 94
 sondă cu microonde 195
 sonda Titan 62-63
 telescopul Hubble 166, 174, 179
 stele
 Calea Lactee 171, 173, 176-178, 181, 184, 186
 culorile 92-93
 fuziune nucleară 142-143
 înghețate 170
 neutronici 122-123
 paradoxul lui Olbers 172-175
 polii albi 122
 unde gravitaționale 166
 etică 64-66, 94-95
 sunet 7, 58, 63, 76-79
 superconductivitate 43, 124-127
 suprafațe 125, 150
 Săltăre, Lee 137-139
 raze 146
 telecabine mobile 89-91
 teleportare 117, 119
 telescop 166, 178, 179
 temperatură
 superconducție 124
 termodinamică 36, 37
 univers 81-82, 94, 106
 viziile și călătoriile
 zero absolut 40-43, 114, 116
 viziile 38, 205
 teoria coardei 156-159, 183, 209
 teoria lui Hubble 48-52
 teoria M 150, 181, 209
 teorie ergodică 52
 termodinamică 36-39, 94
 cheiuri 26
 timp 162-163, 165-166, 169
 sub viteză 54
 unde radio 89
 unde
 districte 68
 dualitate undă-particulă 75, 98-99, 100-103, 104, 114, 205
 ecuația lui Schrödinger 100-103, 205
 efect Doppler 76-79
 electromagnetice 22, 57-58, 75, 88-91, 98, 100
 gravitaționale 166
 incidentul 70, 73, 75, 88-91, 104
 principiul lui Huygens 68-69
 raze 57-58
 refracție 66
universe
 antimaterie 135
 Big Bang 175, 179, 180-183, 185-187
 căutare a vieții 196-199
 constanta cosmologică 182-185
 ecuația lui Drabe 196, 198
 efect Doppler 78-79
 energie întinseală 192, 194-195, 200, 202
 entropie 17, 38
 expansiune 176-179, 181, 184, 187, 192-195
 materie întinseală 188-189
 paradoxul lui Olbers 172-175
 principiul antropoc 200-201
 principiul lui Mach 6-7
 radiație cosmică de fond 179, 182-183, 185-187
 raze de lumină 184-187
 spațiu-timp 165-168
 stare stabilă 180, 183, 192
 temperatură 87-89, 94
 teoria lui Hubble 52
 univers paralel 115, 203-204
 viziile și planete, stele
universe 186-187, 189
 vibrații 24-27, 156-157
 viziile 36, 86-89, 205
 viziile și înțelegerea 23
 viziile
 legi ale mișcării 8-9
 viteză luminică 22, 160-163
 viteză suprațurală 7, 160
 vreme 48-50, 52, 55
WIMP 188-191
Young, Thomas 22, 75
 zero absolut 40-43, 114, 116

50 Physics Ideas You Really Need to Know
Joanne Baker

Copyright © 2007 Joanne Baker
Ediție publicată pentru prima dată în 2007
Toate drepturile rezervate

Joanne Baker și-a declarat drepturile pentru
a fi identificată ca autor al acestei cărți.

Ediție publicată pentru prima dată în 2007
Toate drepturile rezervate

Credite foto: p.48 iStockphoto
Ilustrații: Patrick Nugent

Nici o parte a acestei lucrări nu poate fi reprodusă,
stocată într-un sistem de reglare a datelor sau
transmisă în nici o formă și prin nici un mijloc,
electronic, mecanic, prin fotocopiare, înregistrare sau
altfel, fără permisiunea scrisă a deținătorului
drepturilor de autor.



Editura Litera

C.P. 53; C.P. 212, sector 4, București, România
tel.: 021 319 6390, 031 425 1639, 0752 548 372
e-mail: comenzi@litera.ro

Ne puteți vizita pe

www.litera.ro

50 de idei pe care trebuie să le cunoști. Fizică
Joanne Baker

Copyright © 2017 Grup Media Litera
pentru versiunea în limba română
Toate drepturile rezervate

Traducere din limba engleză: Corina Hădăreanu

Editor: Vidrașcu și fiu
Reactor: Georgiana Harghel
Corector: Elena Anca Căsan

Copertă: Flori Zahra
Tehnoredactant și prepress: Bogdan Crociana

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
BAKER, JOANNE

50 de idei pe care trebuie să le cunoști. Fizică / Joanne
Baker, trad. Corina Hădăreanu, -
București: Litera, 2017
ISBN 978-606-33-2305-9
ISBN EPUB 978-606-33-5701-5

I. Hădăreanu, Corina (trad.)

021.03(73)-31=135 I